

# المكتبة التكنولوجية

٢

إشراف المهندس سعيد عبد الغفار

## صناعة الصلب في المحولات

مهندس / صبحي محمد علي

تقديم  
مهندس / عدلي كريم



الهيئة المصرية العامة للكتاب



# المكتبة التكنولوجية

٢



الهيئة العامة لمكتبة الإسكندرية

• ٢٨٩

## صناعة الصلب في المحولات

## المكتبة التكنولوجية

سلسلة تصدر عن الهيئة المصرية العامة للكتاب  
بإشراف : مهندس / سعيد عبد الغفار

المكتبة التكنولوجية

٢

# صناعة الصلب في المحولات

مهندس صديقي محمد علي

تقديم

مهندس علي كريم



الهيئة الوطنية للأرشيف والكتب

١٩٨٧

اخراج : زهور السلام

---

الاشراف الفني : محمد قطب

## تقديم

لعل لا أكون مبالغاً إذا اعترفت أنني غمرني شعور بالرضا حين تصفحت هذا الكتاب العلمي المتخصص . . ذلك أن الكتاب قد ملأ فراغاً كان يعيب مكتبتنا الهندسية العربية وهو مجال انتاج الصلب بأساليبه المتنوعة . ومما لا شك فيه أن حاجة العاملين في صناعة الحديد والصلب - وقد تنوعت شركاتها وأساليب انتاجها - أصبحت ماسة للغاية الى كتاب يغطي هذا المجال ويزود هؤلاء العاملين بما يلزم من معلومات أساسية .

ولقد أدركت قيمة الكتاب انطلاقاً من الجهد المخلص الذي بذله المؤلف كي يبسط المعلومات والحسابات دونما اخلال بأمانة الجهد العلمي ونسؤولية المجال الهندسي .

ونأمل أن تضطرر الجهود حتى تستكمل المكتبة الهندسية العربية جميع جوانبها .

مهندس عدلى عبد الشافى كريم





## الفصل الاول

### المبادئ الأساسية لصناعة الصلب فى المحولات

فى الواقع يعتبر الحديد الزهر سبيكة من الحديد والكربون فهو يحتوى على ٣٥ - ٤٥٪ من الكربون ، ٢٥ - ٤٥٪ من الشوائب التى أهمها السليكون والمنجنيز والفوسفور والكبريت .

ويحتوى الحديد الزهر اللازم لصناعة أنواع الصلب الخاصة على عناصر الكروم والنيكل والفانديوم . وهذه العناصر هى التى تكسب الصلب الخواص التى صنع من أجلها .

وبفل كثيرا نسبة الشوائب فى الصلب العادى عنها فى الحديد الزهر اذ تكون فى مجموعها نسبة تتراوح بين ٥٠ - ١٥٪ بينما تتراوح بين ٢٥ - ٤٥٪ فى الحديد الزهر . وهذا النباين الكبير فى نسب الشوائب فى الحديد الزهر والصلب هو المسئول عن الفروق الجوهرية فى الخواص .

ويتميز الصلب بمقدرته على تقبل الطرق والثنى والشد وتتيح هذه الخواص امكانية تشكيل الصلب بطرق التشكيل المختلفة كالطرق على الساخن والسحب والثنى على البارد . ويمكننا انناج تشكيلة كبيرة من الصلب تخلف فيما بينها اختلافا بينا فى الخواص الميكانيكية والخواص الأخرى وذلك بالتحكم فى التركيب الكيميائى وكذلك بواسطة المعالجة الحرارية .

ويتسم الحديد الزهر بالصلادة والهشاشة وعدم قابليته للمطيلية . ولا يكتسب الحديد والزهر خاصبة المطولية عند السخين ( باستثناء الحديد الزهر المطاوع فانه يكتسب هذه الخاصية بعد اجراء عمليات معقدة من المعالجة الحرارية ) وتقوم صناعة الصلب أساسا على التخلص من الغالبية العظمى من الشوائب الموجودة بالحديد الزهر قباتحاد الشوائب ( الكربون - المنجنيز - السليكون - الفوسفور - الكروم - الفانديوم ) بالأكسجين الموجود فى هواء النفخ يمكننا التخلص منها على

هينسه أكاسيد . اما الكبريت فيتمكن من ازالته على صورة كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد المنجنيز . وينتج حاليا بواسطة أفران سيمنز مارتن والأفران الكهربائية أيضا يصنع بواسطة المحولات والأفران الدوارة .

وقد يتم صنع الصلب على مرحلتين : فى المرحلة الأولى تقوم المحولات بانتاج الحديد الزهر ثم تتكفل أفران سيمنز مارتن أو الأفران الكهربائية بتحويل الحديد الزهر الى صلب فى المرحلة الثانية .

ونعرف الطريقة التى يتم فيها صناعة الصلب على مرحلتين بالطريقة المزدوجة وفى الأفران الكهربائية وأفران سيمنز مارتن يقوم الحام المضاف الى الشحنة بتمويل الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب الى منطقة التفاعل والحدود المشتركة بين الحب والعلز . كذلك يشترك الهواء المحيط بالشحنة فى مدها بالأكسجين .

وينتقل الأكسجين خلال الشحنة بواسطة الانتشار ويتوقف معدل الانتشار على درجة حرارة الشحنة وكذلك على درجة لزوجة كل من الحب والفلز المنصهر ولذا فان انتشار الأكسجين يكون بطيئا نسبيا .

وفى صناعة الصلب بطريقة المحولات يتم الحصول على كمية الأكسجين المطلوبة بواسطة هواء النفخ والذى يعمل على تقليب الشحنة مما ينجح للأكسجين فرصة الانحداد مع الشوائب بسهولة . . لذا كان الانتشار هنا أقل أهمية .

## ١ - القواعد العامة لصناعة الصلب فى المحولات

تقوم صناعة الصلب فى المحولات أساسا على نفخ الحديد الزهر بالهواء الجوى أو بالهواء الجوى المشبع بالأكسجين أو بخليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو الأكسجين النقى مع ناى أكسيد الكربون .

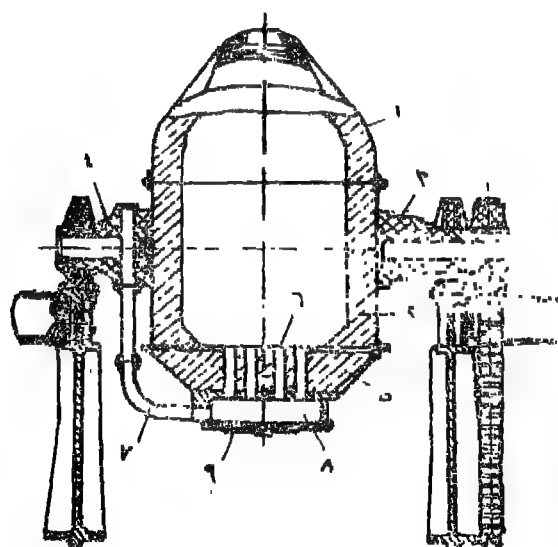
وينم النفخ بواسطة ودنات ينفذ منها الهواء الى قاعدة المحول التى نحوى على عدد كبير من الثقوب لدخول الهواء .

وفى التطورات الحديثة لصناعة الصلب فى المحولات بوضع شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء ( لبس بها ثقوب ) ثم يسلط على الشحنة تيار من الأكسجين الخالص خلال الفتحة العليا للمحول فيتأكسد عنصر الحديد فى أول الأمر ويتحول الى أكسيد الحديدوز الذى يقوم بعد

ذلك بأكسدة الشوائب بواسطة ما يحتويه من أكسجين ولا يخلو الأمر من  
 أن بعض الشوائب قد تتأكسد مباشرة بأكسجين النفخ .

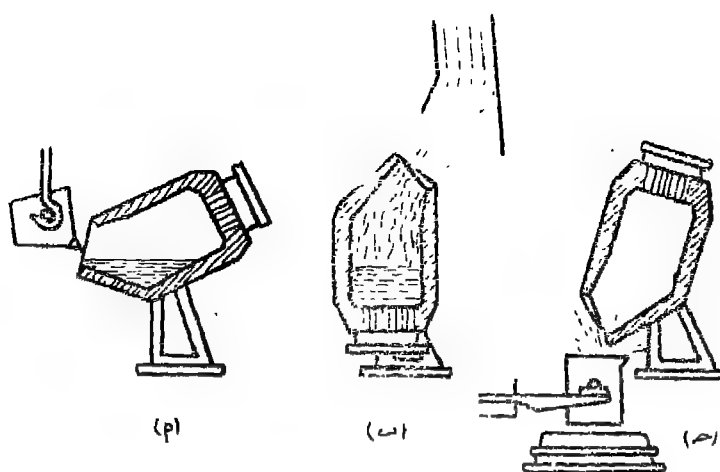
ونتيجة لاتحاد أكسجين النفخ بعنصر الحديد والشوائب الموجودة  
 بالحديد الزهر تنبعث كمية لا بأس بها من الحرارة وبإضافة كمية الحرارة  
 الطبيعية التي يحتويها الحديد الزهر نكون لدينا الحرارة اللازمة ليس فقط  
 لتسخين المعدن المصهور ولكن أيضا لصهر كمية مناسبة من الحردة أو  
 لاختزال كمية محسوبة من خام الحديد .

وبين شكل (١) تصميم لاجد المحولات قاعدية النفخ . وبتركيب  
 المحول من وعاء معدني كمرى الشكل مبطن من الداخل بطوب حراري بحدود  
 نوعه تبعا للطريقة المستخدمة في صناعة الصلب ويسنطبع المحول الدوران  
 حول محور أفقي .



شكل (١) : اشكال الطوب التي تستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول .

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| ١ - هيكل المحول           | ٢ - حرارات البطانة |
| ٣ ، ٤ - مرتكز الدوران     | ٥ - قاعدة المحول   |
| ٦ - قصبات الهواء وفتحاتها | ٧ - أنبوبة الهواء  |
| ٨ - صندوق الهواء          | ٩ - غطاء الصندوق   |



(٦) : المحول في أوضاعه المختلفة :

- أ - عند سخنه بالحديد الزهر
- ب - أثناء النفخ
- ج - عند صب الصلب منه

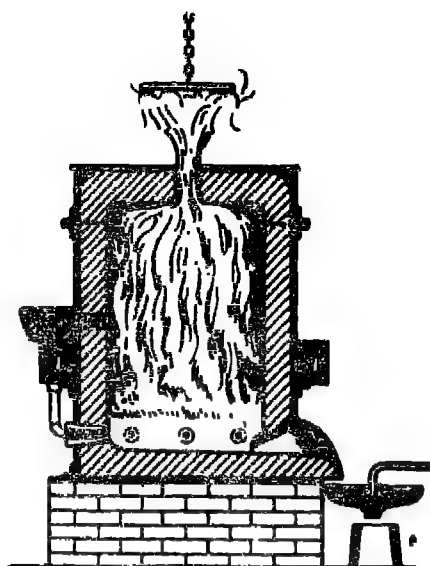
## ٢ - نبذة تاريخية

اكتشفت صناعة الصلب بواسطة المحولات سنة ١٨٥٩ م ومكتشفها هو هنرى بسمر الذى قام بأبحاثه بعد تمكنه من قبل حكومته من إنتاج الصلب من الحديد الزهر بنفخه بالهواء دون الاستعانة بأى وقود .

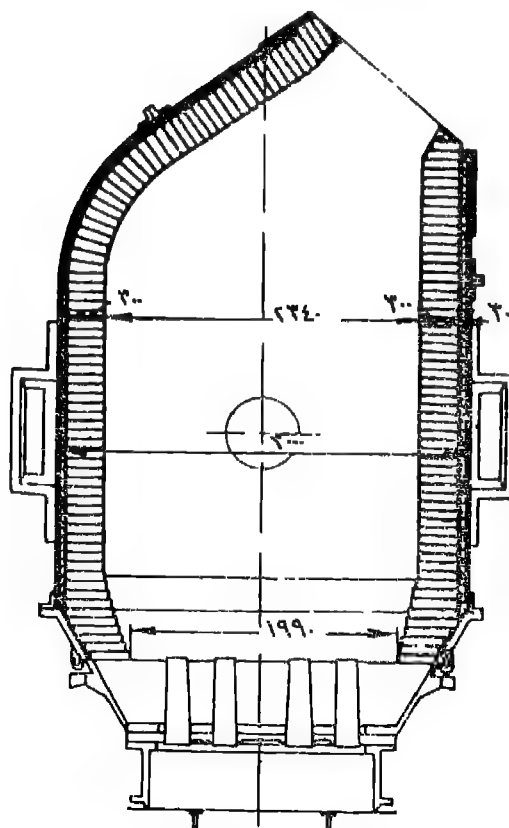
ويعتبر محول بسمر المبين بشكل (٣) بداية المحاولات لصنع أول محول فى تاريخ صناعة الصلب وهو يتركب من وعاء معدنى ثابت ذى فتحة جانبية عند منتصف ارتفاعه أصب الحديد المنصهر داخل المحول ويوجد بالقرب من قاعة ودنات يمر منها الهواء الى الداخل ويحتوى الجزء الأسفل للمحول على فتحة لإخراج الصلب الناتج وتهرب الغازات المتكونة أثناء التفاعلات الكيميائية من فتحة موجودة عند قمة المحول حيث يصطدم بلوح من الصلب يستخدم كعاكس للغازات كما هو مبين بالشكل .

ويبطن المحول بطوب ديناس الحامضى ، وهذا النوع من الطوب يكون مناسباً اذا أحوى الحديد الزهر على أقل كمية من الفوسفور والكبريت وعندئذ يمكننا إنتاج صلب ذى جودة عالية .

شكل (٣) اول محول في تاريخ  
صناعة الصلب  
( بلاحظ نبوته في مكانه )



شكل (٤) محول  
بمساحة ٢٠ طنا



ويلاحظ على الفور قصور مثل هذا المحول عن أداء مهمته على الوجه الأكمل نظرا لثيوته في موضعه ولهذا يسمح علينا بدء نفخ الهواء في المحول قبل صب الحديد الزهر ٠٠ كما يجب انتهاء عملية النفخ بعد أن يتم صب الصلب مما يعرض كثيرا من الحديد للضياع نتيجة لتأكسده وخصوصا إذا تعطلت فتحة صب الصلب لسبب أو لآخر .

وبعد سلسلة من المحاولات باءت كلها بالفشل ، تمكن بسمر في سنة ١٨٦٠ من بناء أول محول متحرك وهو لا يختلف كثيرا عن المحولات التي نراها اليوم .

### ٣ - مبادئ الكيمياء الطبيعية في صناعة الصلب

يحدث كثير من العمليات الطبيعية المعقدة والتفاعلات الكيميائية أثناء نفخ الحديد الزهر في المحولات فيقوم الأكسجين الموجود بهواء النفخ وخام الحديد بأكسدة المواد غير المرغوب فيها « كربون ، منجنيز ، سليكون ، فوسفور » أما الكبريت فنتمكن من إزالته إذا كانت الطريقة المستعملة قاعدية ، وبمجرد تكوين هذه الأكاسيد فإنها تتحد مع الإضافات التي بالشحنة وأهمها الجبر الحى ( أكسيد الكالسيوم ) لتكون خبثا ، وتشارك بطلانة المحول بجزء لا بأس به في تكوين الخبث ومع هذا فإن جزءا من هذه الأكاسيد يذوب في الصلب النائج .

وبالنسبة للكربون فإنه بمجرد أن يتأكسد فإنه يبتعد عن منطقة الفاعلات على صورة أول أكسيد الكربون ٠٠

وبالرغم من هذا فإنه في نهاية عملية النفخ يمكن بعض هذه العناصر غير المرغوب فيها ( النفايات ) التي تم تأكسدها من التنصل من الأكسجين بواسطة الاختزال وبذلك تعود سيرتها الأولى ، وتأخذ صورتها العنصرية ثم تشارك في تركيب الصلب الناتج من جديد فصلا يختزل ثاني أكسيد السليكون الذى يذوب في الصلب الناتج كذلك نختزل أكاسيد المنجنيز والفوسفور في محولات نوامس .

ونعتبر دراسة الظروف التي يتم فيها أكسدة الشوائب واختزالها وكذلك تكوين الخبث أمرا مهما الى حد بعيد لكي نتمكن من التحكم في صناعة الصلب والسيطرة على التفاعلات التي تحدث داخل المحول .

### ( ١ ) المجموعة - الصنف - المحلول وتركيزها :

يطلق على عدد من المواد التي تتفاعل مع بعضها لفظ ( مجموعة ) فمثلا يطلق لفظ « مجموعة » على : الفلز المتكون ، الحبث ، البطانة .

ومن الواضح أنه أثناء صناعة الصلب تحدث كثير من التفاعلات الكيميائية داخل هذه المجموعة . وتكون المجموعة متجانسة ، إذا كانت جميع المواد المكونة لها متشابهة طبيعيا ولا تختلف فى خواصها فإذا اختلفت هذه المواد عن البعض فى خواصها الطبيعية أطلق عليها « مجموعة غير متجانسة » وبطلق لفظ ( صف ) على أى جزء من مجموعة غير متجانسة يختلف خواصها الطبيعية عن باقى المجموعة .

وتحتوى على مجموعة المواد المتفاعلة داخل المحول على أربعة أصناف على الأقل وهى : الفلز المصهر - الحبث - بطانة المحول - والغازات وكل صنف من هذه الأصناف يكون متجانسا باعتباره منفصلا بينما تكون هذه الأصناف مجمعة مجموعة غير متجانسة .

وأثناء عملية النفخ نحدث كبر من التفاعلات الكيميائية فى كل صنف على حدة وكذلك بين الأصناف المختلفة ويطلق لفظ ( محلول ) على كل صنف متجانس يحتوى على مواد ممتزجة ببعضها امتزاجا تاما .

ولما كان الصلب مديا لكثير من الأصناف المختلفة كالشوائب وبعض الأكاسيد وعدد من الغازات فهو يعتبر محلولاً معقداً .

أيضا يعتبر الحبث محلولاً مكوناً من الأكاسيد المختلفة ومركباتها ونظرا للامزاج التام بين الغازات يعتبر خليط من الغازات أبسط أنواع المحاليل .

ولخليط من الغازات ضغط كل واحد مساويا لمجموع الضغوط الجزئية لكل منها منفردا .

والضغط الجزئى لخليط من الغازات هو ضغط كل منها على حده حين يسمح له بشغل كل الحيز الذى يشغله الخليط عند نفس درجة الحرارة .

ويتناسب تركيز كل غاز فى الخليط مع ضغطه الجزئى طرديا . .  
ولقد اتفق على التعبير عن مقدار من المادة مذابا فى محلول ما بدرجة تركيز هذه المادة فى هذا المحلول فمثلا إذا احتوى نوع من الفولاذ على ٥٠ % من المنجنيز مذابا فيه قيل ان درجة تركيز المنجنيز فى هذا الفولاذ ٥٠ % .

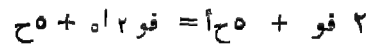
وقد اصطلح على التعبير عن تركيب الغازات فى محلول منها بالنسبة المئوية حجما أما فى حالة السوائل فيكون التعبير بالنسبة المئوية وزنا .

## ( ب ) قانون فعل الكتلة - معدل التفاعلات الكيميائية :

### التأثير الحرارى :

نعرف المواد النى تشترك فى تفاعل ما بالمواد الداخلة فى التفاعل ونكتب عادة فى الطرف الأيسر من معادلة كيميائية تحدد هذا التفاعل ( هذا اذا كتبت المعادلة باللغة الانحازية ) كما تعرف المواد السى تكون نتيجة لهذا التفاعل « بناتج التفاعل » وتكتب بالطرف الأيمن للمعادلة الكيميائية .

وينص قانون فعل الكتلة على أن معدل سرعة تفاعل ما مقيسا بمقدار المواد المتفاعلة فى وحدة الزمن يكون متناسبا مع درجة تركيز المواد الداخلة فى التفاعل ومساويا لحاصل ضربها مرفوعة للقوة العددية المناظرة للمعاملات الحسابية لكل منها وعلى سبيل المثال يعتبر التفاعل الآتى :



تكون الاعداد ٢ قبل فو ، ٥ قبل ح أ هى المعاملات الحسابية لكل منها واذا لم يكن هناك عدد حسابى مكتوب مثل فو٢ أو ح٥ فانه من الضروري التعبير عن معدل التفاعلات كالاتى :

$$\begin{aligned} \text{ع} &= \text{ث} \times (\% \text{فو}) \times (\% \text{ح}^2) \\ \text{ع} &= \text{سرعة التفاعل} \\ \text{ث} &= \text{ثابت ( معدل سريان التفاعل )} \end{aligned}$$

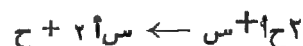
ويتوقف هذا الثابت على عدد من العوامل منها درجة الحرارة وطبيعة المواد الداخلة فى التفاعل . وعادة ما تكون قيمة ت كبيرة جدا فى غالبية التفاعلات الحادثة فى صناعة الصلب أى أن التفاعلات تسير بمعدل سريع جدا . ويلزم امداد عناصر التفاعل باستمرار الى منطقة التفاعل مع سحب نواتج التفاعل بصفة دائمة حتى يسير التفاعل فى الانجاء الصحيح بسرعة مقبولة على المستوى الصناعى ويعتمد ذلك فى النهاية على عمليات انتشار للمواد المتفاعلة خلال منطقة التفاعل وهى عمليات يقل معدلها عادة عن معدلات التفاعلات الكيميائية لذلك يعتبر معدل الانتشار هو المحك فى معدل تقدم التفاعلات وليس المحك هو السرعة النظرية لهذه التفاعلات .

ويزيد من سرعة معدل الانتشار نحسن ظروف التقليب فى حمام المعدن المنصهر بفعل تآكيد الشوائب وهواء النفخ ( أو الأكسجين ) .



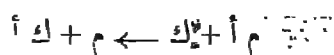
وتخزن كل مادة كمية من الطاقة الداخلية تقاس بالسرعات الحرارية وعندما يتفاعل المادة مع غيرها تفاعلا كيميائيا فقد ينخفض مقدار الطاقة الداخلية لانتقال جزء منها الى البيئة المحيطة أو يزيد باستقبال طاقة من الخارج فإذا احتوت المواد المتفاعلة على طاقة أكبر من طاقة نواتج التفاعل تصاعد الفرق على شكل حرارة ويمكن لهذا التفاعل أن يستمر إذا تم سحب الحرارة المتصاعدة من منطقة التفاعل . وعلى العكس إذا كان محتوى الطاقة لنواتج الفاعل أكبر من المواد المتفاعلة استلزم الأمر امداد كمية خارجية من الحرارة الى منطقة التفاعل كشرط لاستمرار هذا التفاعل ويطلق على الفاعل الذي تتصاعد الحرارة من جراء حدوثه اصطلاح « تفاعل طارد للحرارة » وعلى النوع الآخر اصطلاح « تفاعل ممتص للحرارة » .

فمثلا : يعتبر التفاعل :



تفاعلا طاردا للحرارة ، حيث يعتق ٧٨٩٩٠ سعرا من الحرارة من كل ذرة سليكون تتفاعل مع جزيئين من أكسيد الحديدوز .

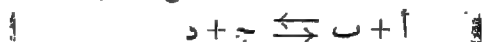
فى حين أن التفاعل :



يعتبر تفاعلا ممتصا للحرارة حيث يحتاج الوزن الجزيئى من مواد هذا التفاعل الى ٦٦٧٥٠ سعرا حراريا كى يتم .

### ج - اوزان التفاعلات

نفترض أن مادتين أ ، ب تتفاعلا مع بعضهما البعض فينتج من هذا التفاعل مادتان ج ، د ومع تقدم التفاعل ينخفض تركيز



المادتين أ ، ب بينما يزداد تركيز المادتين ج ، د بفرض استمرار تغذية أ ، ب واستمرار بصريف ج ، د الى ومن منطقة التفاعل . وتقل سرعة التفاعل فى اتجاه اليسار مع انخفاض تركيز المادتين أ ، ب ثم ينعكس اتجاه الفاعل بعد زيادة تركيز المادتين ج ، د ويسمى مثل هذا التفاعل نفاعلا قابلا للانعكاس .

ويستمر الحال حتى يتساوى معدلا التفاعل فى كلا الاتجاهين وبذلك يبلغ التفاعل مرحلة الاتزان ويتوقف سريره .

ويكون معدل التفاعل في اتجاه اليمين ع ١ = ث ١ × ١٠ ب

ويكون معدل التفاعل في اتجاه اليسار ع ٢ = ث ٢ × ٢٠ ج

وفي حالة الاتزان يصبح : ع ١ = ع ٢ أى ١٠ ب = ٢٠ ج

$$\frac{\text{ث } ٢}{\text{ث } ١} = \text{ث } ٠ \quad (\text{ثابت التفاعل عند الاتزان})$$

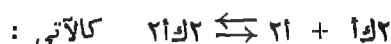
$$\text{ث } ٠ = \frac{\text{ج } ١ \cdot \text{د } ١}{\text{ب } ١ \cdot \text{أ } ١} = \text{ثابت الاتزان}$$

$$= \frac{\text{نسبة تركيز المواد المتفاعلة}}{\text{نسبة تركيز نواتج التفاعل}}$$

ويكون لثابت الاتزان قيمة ثابتة عند كل درجة حرارة وتنتج كل مجموعة متفاعلة الى نقطة الاتزان عادة بتغيير نسب تركيز المواد المتشاركة في التفاعل .

وفي حالة التفاعلات التي تجري داخل المحولات يلاحظ أن المواد الموجودة في الحثت نفاعل مع المواد الموجودة في المعدن وللتمييز بين تركيز المادة في المعدن وفي الحثت جرى العرف على التعبير عن تركيز المواد في المعدن بوضعها بين قوسين مستطيلين [ ] وتركيز المواد في الحثت بوضعها بين قوسين مسنديرين ( ) .

ويعبر عن المواد الغازية الداخلة في نفاعل ما عادة بضغطها الجزئي ( ض ) أى أن ثابت الاتزان للتفاعل :



$$\text{ث } ٠ = \frac{\text{ض } ٢ ك٣}{\text{ض } ٢ ك١ \times \text{ض } ٢ ك٢}$$

#### ٤ - المبادئ الأساسية لتحويل الزهر

يحتوى الحديد الزهر على عنصر الحديد ممحدا مع عدد من العناصر الكيميائية الأخرى أهمها الكربون والمنجنيز والفوسفور والكبريت والسليكون .

ونتوقف نسب هذه العناصر في الحديد الزهر على التركيب الكيميائي للمواد الخام المكونة للشحنة الفرن العالى وفى مقدمتها خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيري كما تتوقف أيضا على طريقة تشغيل الفرن العالى نفسه وعموماً يحتوى الحديد الزهر على ٣ - ٤٥٪ من الكربون ، ١٥ - ٢٥٪ للمنجنيز وتصل نسبة الكبريت به الى ٠.٣٪ ، ٢٥ - ٢٥٪ من الفوسفور ، ٥ - ٤٪ من السليكون .

وعند تنقية الحديد الزهر بتحويله الى صلب يجب أن تزال هذه العناصر جميعاً أو على الأقل تخفض نسبتها كثيراً وتنقسم طرق انتاج الصلب - ومنها طرق النفخ - من وجهة النظر الكيميائية الى أسلوبين رئيسيين :

### الأسلوب الحمضى ، والأسلوب القاعدى :

ويمكن ازالة كل من الكربون والمنجنيز والسليكون بسهولة نسبية فى أى من هذه الطرق سواء كانت حمضية أو قاعدية ولكن ازالة كل من الفوسفور والكبريت تتطلب ظروفًا خاصة يمكن توافرها فقط بتطبيق الأسلوب القاعدى حيث يضاف الجير الى الشحنة لتكوين خبث قاعدى ويستطيع الخبث القاعدى تكوين مركبات مع الفوسفور والكبريت أثناء عمليات التنقية وبذلك يتخلص المعدن من كليهما .

وتبعاً لطبيعة الخبث الكيميائية يجب أن تجرى كل طريقة فى جهاز يبطن بجداريات لها تركيب كيميائى خاص والا تفاعلت مع الخبث وتعادلت مع مكوناته فتتدهور البطالة سريعاً .

ويتحد الاكسجين بالعناصر غير المرغوب فيها ( باستثناء الكبريت ) والتي يطلق عليها اسم الشوائب كما يتحد بعض الحديد - وهذا أمر لا مفر منه وتكون أكاسيد يفادر بعضها منطقة التفاعلات على هيئة غازات ويشترك البعض الآخر فى تكوين الخبث .

والكبريت لا يمكن ازالته باتحاده مباشرة مع الاكسجين ولكن ازالته تعتمد بدلا من ذلك على قاعدين الخبث ودرجة حرارته .

وتتابع عمليات تنقية الحديد الزهر على نحو مطرد ويلزم ذلك ارتفاع مستمر فى درجة انصهار الشحنة مما يوجب مداها بكمية وفيرة من الحرارة حتى تظل منصهرة .

وبوجه عام تتشابه جميع أنواع الصلب ذات التركيب الكيميائى الواحد - مهما اختلفت طرق صناعتها - فى الخواص الميكانيكية والفيزيائية .

فالصلب الذى يصنع بطرق النفخ وله نفس التركيب الكيمائى لذلك الصلب الذى يتم صنعه فى القرن المفتوح القاعدى - خاصة فيما يتعلق بنسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين - سوف يكون خواصهما متقاربة ، وقد يستخدم فى نفس تطبيقاته العامة .

وهناك بعض تطبيقات يفضل فيها استخدام الصلب المصنوع بطرق النفخ - خاصة صلب بسمر - عن الصلب المصنوع بأى من الطرق الأخرى لما يتمتع به من خواص ميكانيكية وفيزيائية مطلوبة نتيجة لتركيبه الكيمائى .

### ( ١ ) قواعد انتاج الصلب بطرق النفخ :

لانتاج الصلب بطرق النفخ يدفع الهواء - أو غاز الاكسجين النقي أو - خليط منهما أو غيرهما من الغازات الأخرى المؤكسدة - تحت ضغط خلال الحديد الزهر أو فوق سطحه وبذلك يتحول الى صلب .

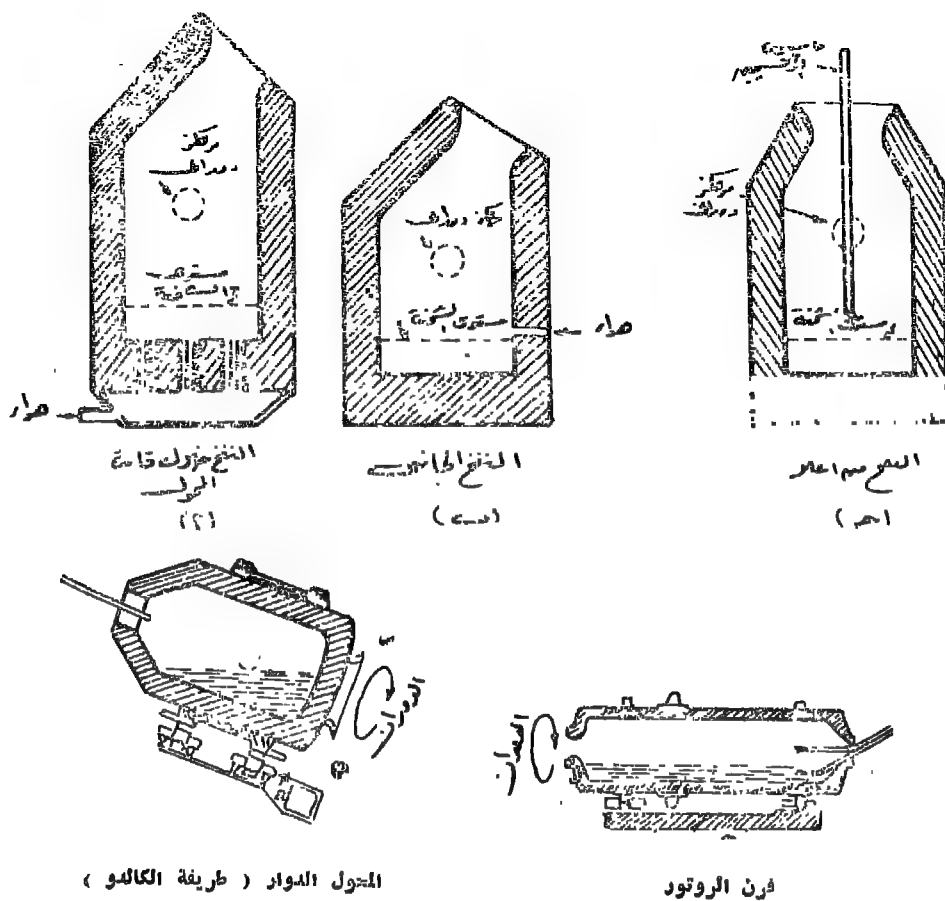
وإذا استخدم الهواء منفردا لنفخ الحديد الزهر فان النتروجين الذى يمثل أربعة أخماس حجمه لا يقوم بأى دور مفيد بل على النقيض من ذلك فانه يأخذ معه عند مغادرته الشحنة المنصهرة كمية لا بأس بها من الحرارة كما يعمل من ناحية أخرى على افساد خواص الصلب المنتج عند تذاب جزء منه فى المعدن المنصهر وعلى ذلك تختفى المشاكل التى تنشأ عن وجود النتروجين اذا استخدم الاكسجين نقياً فى نفخ الحديد الزهر .

وهناك طرق مختلفة يمكن فيها مد الشحنة المنصهرة بالغاز المؤكسد ، وفى الوقت الحاضر تستخدم خمس طرق لانتاج الصلب تجارياً وهى موضحة تخطيطياً فى شكل (٧) .

ويعتبر انتاج الصلب بأسلوبيه الحمضى والقاعدى فى المحول من النوع الأول حيث ينفخ الهواء خلال قاعدته بمثابة العمود الفقرى لهذه الصناعة . ( أنظر شكل ٧ ) .

وفى هذه الطريقة ينتقل هواء النفخ خلال الارتفاع الكلى للمعدن المنصهر حيث يقوم بأكسدة الشوائب وتحويل الحديد الزهر الى صلب .

أما المحول من النوع الثانى (ب) حيث ينفخ الهواء جانباً فيمكن اعداده كى يكون النفخ خلال المعدن نفسه أو مماساً لسطحه .



شكل (٧) : يبين الطرق المختلفة لصناعة الصلب بطرق النفخ

وعلى الصعيد العالمى لم يحظ هذا النوع من المحولات بالانتشار الواسع اذ ظهر عند التطبيق كثير من مشاكل الصيانة وغيرها .

أما فى النوع الأخير من المحولات ( ج ) حيث ينفخ الاكسجين النقى من أعلى خلال فوهة المحول من ماسورة تبرد بالمياه ويندفع الغاز بسرعة عالية وتحت ضغط شديد الى المعدن المنصهر فيتقعر سطحه وتزداد المساحة المعرضة للتفاعلات المباشرة مع تيار الغاز .

وفى طريقة الكالدو يدخل تيار الاكسجين مائلا بزواوية صغيرة الى سطح المعدن المنصهر الذى يوجد فى محول شبه المحولات السابقة ويميل محوره على الأفقى بزواوية ملائمة ( كما فى الشكل ) ويدور بسرعة معينة .

أما في طريقة الروتور فيحقن غاز الأكسجين النقي تحت سطح المعدن المنصهر في فرن اسطوانى أفقى يدور ببطء بينما يدفع تيار من أكسجين تجارى ( نقاوته أقل من عادية ) فوق مصهور المعدن .

### ( ب ) خصائص ومميزات الصلب المصنوع بطرق النفخ :

بينما ننفرّد الطرق الغازية لصناعة الصلب بميزات عديدة أهمها سرعة الانتاج وبساطة التشغيل فانها في نفس الوقت لا تخلو من بعض العيوب الكيميائية وهذه أمكن التغلب على الجزء الأكبر منها بتطبيق طرق النفخ الحديثة . فمثلا يحتوى أنواع الصلب المصنوعة في محول بسمر بنفخ الحديد الزهر بالهواء فقط خلال قاعدة المحول عموما على نسبة عالية من الفوسفور والكبريت والنتروجين بالقياس الى النسبة المناظرة لهذه العناصر في أنواع الصلب المصنوعة في الفرن المفتوح القاعدى وقد نضيق الهوة بين نسب العناصر عند المقارنة بين أنواع الصلب المصنوع في كل من محول نوماس أو بسمر القاعدى ( والفرن المفتوح القاعدى اذا أخذنا في الاعتبار : الفوسفور والكبريت ولكنه من المتعذر انتاج صلب توماس تنخفض فيه نسبة النتروجين اذا استخدم في النفخ هواء منفرد .

وعندما تكون نسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين في صلب توماس مرتفعة عند المقارنة بصلب الفرن المفتوح القاعدى فان ذلك يؤدي الى ارتفاع نقطة الخضوع به وزيادة مقاومته للشد بينما تخفض مطيليته عن صلب الفرن المفتوح القاعدى . . وعلاوة على ذلك فانه اذا ما ارتفعت نسبة النتروجين في الصلب المصنوع بطرق النفخ تعرض لفقد بعض مطيليته نتيجة لما يعرف بظاهرة الازمان .

ويمكن تفهم سبب انخفاض نسبة النتروجين في الصلب المنتج في محول جانبي النفخ ( حيث يمر تيار الهواء مماسا لسطح المعدن المنصهر ) عنه في الصلب المنتج في محولات بسمر أو توماس ( حيث يتم نفخ الهواء خلال قاعدة المحول ) مع أن غاز النفخ في كلتا الحالتين هو الهواء اذ أن فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين في هواء النفخ في الحالة الأولى تكون أقل منها في الحالة الثانية . أما في طريقة النفخ العلوية بالأكسجين النقي فتتعدم تقريبا فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين – اللهم الا من الهواء الخارجى – وعليه تنخفض كثيرا نسبته في الصلب الناتج .

وهناك عيب آخر في طرق النفخ لصناعة الصلب يكمن في الصعوبة

النسبية التي تواجه عملية ضبط نسبة الكربون في المنتج النهائي بإحكام ودقة كما يحدث عند صناعته في القرن المفتوح القاعدى اذ تمتاز الطريقة الأخيرة بفرصة مفتوحة لضبط نسبة الكربون في الصلب المنتج .

ولما كانت طرق النفخ لصنع الصلب تتسم بالسرعة فانه من العسير إيقاف النفخ فى الوقت المناسب بالضبط عندما تصبح نسبة الكربون فى المعدن هى المنشودة وبالتالي كانت التشكيلة المتاحة من الصلب المنتج بهذه الطرق محدودة ولا تتعدى فى أغلب الأحيان الصلب منخفض الكربون ( نسبة الكربون حوالى ٠.٣ ٪ ) والصلب التجارى ( نسبة الكربون حوالى ٠.٥ ٪ ) أما اذا كان مطلوباً صنع صلب عالى الكربون فانه يمكن تحقيق ذلك بنفخ المعدن المنصهر حتى نسبة منخفضة من الكربون ثم إعادة كربنة الصلب بإضافة مواد مكربنة .

يضاف الى ما سبق من العيوب عيب آخر لا يقل عنها شأنًا فى صناعة الصلب بطرق النفخ لا يمكن السيطرة بسهولة على درجة حرارة النفخ النهائي فهى رهن بعوامل عديدة منها :

الحرارة الطبيعية للحديد الزهر وهى التى يمكن قياسها بأجهزة القياس المختلفة كالمزدوجات الحرارية والحرارة الكيميائية له وهى الحرارة التى تتولد عند أكسدة الشوائب ويمكن حسابها من معادلات التأكسد ، ونسبة الغازات المؤكسدة فى غازات النفخ ودرجة حرارته وغيرها من العوامل الأخرى التى اذا ما أضيف إليها عامل السرعة فى هذه الطرق أصبح التحكم فى درجة الحرارة ضرباً من المستحيلات .

وفى السنوات الأخيرة أصبح فى الامكان تطوير طرق النفخ حتى يمكن التغلب على القصور الموجود بالطرق القديمة السابقة وقد تحقق ذلك بفضل استخدام الاكسجين النقى والهواء المزود بالاكسجين وخليط من الاكسجين والبخار وخليط من الاكسجين وثنائى أكسيد الكربون وغيرها من الغازات المؤكسدة الأخرى أو خليط منها .





## الفصل الثانى

### الحراريات المستخدمة فى المحولات

تعتبر المواد الحرارية من العناصر الأساسية التى تلزم انتاج الصلب من المحولات ، ذلك أنها تعد الجزء الواقى من تأثيرات الحرارة الشديدة التى تنسم بها عمليات انتاج الصلب .

ومن اللازم أن يكون انتقاء المادة الحرارية التى تصلح للتعامل مع الحديد الزهر الداخلى الى المحولات بحيث تتمكن المادة الحرارية من مواجهة التأثيرات الحرارية والكيميائية للحديد الزهر والخبث يشتى التفاعلات المصاحبة لعملية تحويل الحديد الزهر الى صلب . كذلك يشترط أن تتصف المادة الحرارية بقوة مقاومة ميكانيكية جيدة للصمود أمام الحركة الميكانيكية للمحول والتأثير الميكانيكى للنحات الناشئ عن حركة الهواء أو الأكسجين ( الوسط المؤكسد ) داخل المحول وحركة حمام المعدن المنصهر على سطح الحراريات .

ويحدث تأثير مشترك بين سطح المعدن والحراريات المكونة لبطانة المحول وقاعدته وكذلك بطانة الخلاط .

وينبغى أن تكون خواص المادة الحرارية فيزيقيا وكيميائيا بحيث يمكنها مقاومة هذا التأثير المشترك لفترة زمنية طويلة تختلف تبعا لاقتصاديات العملية وتسمى هذه الفترة بعمر أداء المادة الحرارية أثناء التشغيل وهى عامل هام لتحديد نظام تشغيل الوحدة .

#### وتتحدد الخواص المطلوبة من المادة الحرارية كالآتى :

- ١ - الصمود للحرارة : أى المقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية بدون أن تتصدع .

٢ - **المقاومة للحريق** : أى المقدرة على أن نظل صديبه تحت أحمال عند درجات الحرارة العالية . وقد وجد ان الطوب الحرارى الذى يتعرض لأحمال معينة - مثلا وزن الطوب الذى قد شيد فوفه أو قد يعرض الضغوط جانبية نتيجة لنموه الطوب المجاور له مى المحول - يبدأ فى فقد صلابته ونسوده أبعاده عند درجة حرارة أقل من صموده للحرارة .

ودرجة الحرارة التى عندها يبدأ التشويه الديناميكى « أى تحت أحمال لها أهمية خاصة للحراريات المستعملة فى تبطين المحولات وتقاس بدرجة حرارة محسوبة عند ضغط قدره ٢ كجم/سم<sup>٢</sup> على مساحته المطلوبة .

٣ - **المقاومة للصدمات الحرارية** : أى مقدرة الطوب الحرارى على مقاومة التشقق عند التعرض لتغير فجائى حاد فى درجة الحرارة .

٤ - **المقاومة للنشاط الكيميائى مع الجليخ** : وهى قدرة الحراريات على الثبوت أمام التفاعلات الكيميائية فكلما قلت قدرة المعدن ( والجليخ فى حالة الانصهار على استهلاك الحراريات ) كلما زادت كفاءتها .

## أنواع الحراريات

تختلف الحراريات تبعا لاستعمالها ففى محولات بسمر تستخدم الحراريات الحامضية وفى محولات توماس تستخدم حراريات قاعدية وهكذا . . . وهناك أيضا حراريات متعادلة وحراريات خاصة .

### أولا : الحراريات الحامضية :

#### طوب ديناس :

ويصنع هذا الطوب من الكوارتز المجروش مضافا اليه كمية صغيرة من الطفل الحرارى وماء الجير كمادة لاصقة . ويتكون الكوارتز أساسا من ثانى أكسيد السيليكون س أ<sup>٢</sup> وهو يستعمل اما بللوريا أو غير بللورى .

عند تسخين الكوارتز يبدأ فى التحول الى أشكال مختلفة فهو يتحول الى تريديميت ثم كريستوباليت مع زيادة فى الحجم وتبعسا لذلك تقل كثافة النوعية .

ويتمدد طوب ديناس عند رفع درجة حرارته وتعتبر هذه الخاصية

ديرة لها أهميتها فعد تبطين المحول مثلا تتماسك حلقات الطوب بالـ  
كبير نتيجة للضغط الناتج عن تمددها .

وطوب ديناس له مقاومة كبيرة للحريق وهو يفضل غيره من الحرارية  
فهو يتمدد حتى درجة ٦٠٠ درجة م ثم ينبت تقريبا عند درجات حرارة  
أعلى من هذه الدرجة .

## ثانيا : الحرارية القاعدية

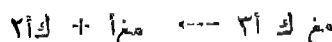
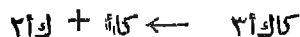
### بودرة المجنزيت :

يتكون خام المجنزيت من كربونات الماغنسيوم مع أ ٣ وعند تحميص  
هذا الخام يتحول الى أكسيد الماغنسيوم مع أ طاردا ثاني أكسيد الكربون  
ك أ ٢ وبطحن أكسيد الماغنسيوم نحصل على بودرة المجنزيت .  
وتستعمل بودرة المجنزيت كمادة أولية لصناعة طوب المجنزيت  
وكرومجنزيت لصناعة بطانة محولات توماس التي تستخدم أكسجيناً في  
النفخ .

### الدولوميت المحروق :

الدولوميت الخام يتكون من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم  
( كال أ ٣ مغ ك أ ٢ ) مع بعض الشوائب مثل السليكا والألومينا وأكسيد  
الحديد . ويكون الدولوميت صالحا للاستعمال اقتصاديا اذا احتوى على أكثر  
من ٢٠٪ أكسيد ماغنسيوم وعلى أقل من ٧٪ سليكا . ويمر الدولوميت  
بمراحل مختلفة حتى يكون جاهزا للاستعمال كقالب لبناء بطانة توماس  
أو قواعد له .

أولا : يخلط الدولوميت الخام ( الكربونات ) بالفحم بنسبة ١ : ١  
حيثما ثم يحمص في الفرن الاسطوانى عند درجة حرارة حوالى ١٤٠٠° م  
والفحم هو المصدر الوحيد لهذه الحرارة . أثناء التحميص للدولوميت  
الخام تتصاعد ما به من رطوبة كلية ثم يتحلل الدولوميت طاردا ثاني  
أكسيد لكربون وفي النهاية نحصل على أكسيد الكالسيوم والماغنسيوم  
تبعاً للمعادلتين الآتيتين :



**ثانياً :** يؤخذ الدولوميت المحروق الى اكسيدى الكالسيوم والمغنسيوم فور خروجه من الفرن الاسطوانى ثم يدخل فى طواحين لطحنه وتكسيه .

**ثالثاً :** بعد طحن الدولوميت المحروق يمرر على مناخل متدرجة أى يمر أولاً على مناخل ضيقة فسيقطن الدولوميت الناعم ثم بعد ذلك يمر على منخل أوسع منه فيسقط الدولوميت الأصغر من فتحات هذا المنخل وهكذا وفى النهاية نحصل على تصنيف لهذا الدولوميت المحروق .

**رابعاً :** يؤخذ خليط معين من هذا الدولوميت المصنف فيؤخذ من كل حجم كمية معينة تحدد المواصفات وذلك للحصول على أكبر قوة نحمل سواء فى قوالب الطوب أو فى القوالب تماماً كما يحدث فى تصنيف خلطة المونة فى المباني فخلطة المونة تتكون من نسب ثابتة من الرمل والزلط والركام والاسمنت والماء .

**خامساً :** تخلط تصنيفة الدولوميت بالقار بنسبة معينة وهذه النسبة تكون ١٢٪ للقواعد ، ٩ - ١٠٪ للطوب ويتم الخلط فى طواحين خلطة .

**ويقوم القار بمهتين أساسيتين :**

١ - يستخدم كمادة لاصقة .

٢ - يستخدم لحماية اكسيدى الكالسيوم والمغنسيوم من التميؤ بواسطة بخار الماء والرطوبة الموجودتين فى الجو اذ أن اكسيد الكالسيوم شره لامتصاص بخار الماء .

وهنا يكون الدولوميت القارى ( أى المخلوط بالقار ) معداً لاستخدامه فى صناعة قوالب الطوب والقواعد اللازمة لمحولات توماس .

**طوب الدولوميت :**

عجينة الدولوميت القارى التى سبق تجهيزها تستخدم لصناعة الطوب الدولوميتى ومن المستحسن أن تكون معظم حبيبات الدولوميت أقل من ٣ مم ويضاف الى هذه العجينة بقايا البطانة القديمة بعد تكسيهها ويمكن استخدام البقايا حتى ٥٠٪ من العجينة .

ولعمل القوالب تستخدم ماكينة القولة حيث توضع العجينة فى قوالب وتضغط بشدة تحت ضغط حوالى ٣٠٠ كجم / سم ٢ فتأخذ شكل القالب والقالب يكون عادة مسلوفاً أى مساحة مقطعة يكون على شكل شبه

منحرف حتى يمكن عمل الحلقات المتتالية للبطانة وهي نشبه عمود المنازل والمساجد .

وتحدد أبعاد الطوبة حسب استعمال المحول ففي المحول الذي يستخدم فيه أكسجيننا خالصا تكون أبعاد الطوبة  $٤٠ \times ١٧٥ \times ١٧٥$  سم ووزنها ٣٦ كجم .

### طوب المجنزيت :

طوب المجنزيت يصنع من بودرة المجنزيت الناعمة مضافا إليها من ٢ - ٢٥٪ طفل حرارى كمادة لاصقة ويرطب الخليط الى حوالى ٥ - ١٠٪ نم يشكل الى طوب تحت ضغط عالى بعد ذلك يجفف ببطء تفاديا لحدوث أى تشققات ثم يحرق عند ١٥٠٠ ° م ولكي يستخدم طوب المجنزيت بكفاءة فى محول ينفخ بالاكسجين الخالص لا بد وأن يخضع للمواصفات الآتية :

الصمود للحرارة - ( م ° )	٢٠٠٠ م ° على الأقل
أكسيد الماغنسيوم بها	٩١٪ على الأقل
أكسيد الكالسيوم بها	٣٪ على الأكثر
أعظم قدرة لها على تحمل الضغوط	٤٠٠ كجم / سم ٢ على الأقل
الوزن النوعى	٢٦٦ كجم / سم ٣ على الأقل
التشويه الحرارى الديناميكى	
عند ٢ كجم / سم ٢	١٥٠٠ م ° على الأقل

وفى بعض الأحيان تصنع المادة الحرارية الملائمة للمعدن والجلج فى المحول من طوب مجنزيت خالص له التركيب التالى :

سأ٢	٩٥-١٠٦ /
كأ٢٣	٨٥-١٠٧٪
حأ٢٣	٧٠٧-٢٧٢٪
كأ	٢٦٦-٢٦٨٪
مغأ	٨٧٥-٨٧٧٪
كب أ٣	-
فو أ	٨٥-٧١٪
رماد يفقد أثناء الحرق لغاية	٢٤٪

وتكون له الخواص الطبيعية والتكنولوجية الآتية :

المسامية الظاهرية	١٣١ - ١٣٦٪
الكثافة	٣١٤ جم / سم ٣
الوزن النوعي	٣٦٢
التشويه الحرارى الديناميكي	
منه ٢ / كجم / رسم ٢	١٨٣٠ - ١٨٤٠ م

### طوب الكرومنجريت :

يصنع هذا الطوب من خليط من بودرة المجنزيت والكروميت المطحون بنسب مختلفة ، والكروميت خام حرارى طبيعى متعادل يحتوى على أكسيدى الكروم والحديد ح أ ، كز أ مع بعض الشوائب مثل أكاسيد السيلكون والالومونيوم والمغنسيوم . وصمود الكروميت للحرارة عال نسبيا اذ يبلغ ٢١٨٠ م ولكن ما به من شوائب تخفض من نقطة الانصهار .

ويمكن الحصول على طوب كرومنجريت ذى صفات طبيعية وتكنيكية ممتازة وذلك باختيار التوزيع الحبيبي للمواد الأولية اللازمة لصناعة هذا الطوب وكذلك بتوفير أحسن الظروف للاحتراق .

### الحراريات الحمضية ( الشاموت ) :

تصنع منتجات الشاموت من خليط من بودرة الشاموت والطفل الحرارى الجاف بعد طحنه وكمية الألومنيا بالطفل الحرارى هى التى تحدد درجة هذا النوع من الحراريات ( درجة أ ، ودرجة ب ، ودرجة ح ) .

وهذه هى نسب مكونات طوب الشاموت :

س أ	٥٢ - ٦٠٪
كز ٣٢	٣٠ - ٤٢٪
ح ٣١	١٥ - ٣٪
كا أ	٣ - ٧٪
فو أ	١ - ٥٪

والمواصفات التى يجب أن تتوافر فى طوب الشاموت وهى :

درجة ج	درجة ب	درجة أ	الصمود للحرارة °م
١٦١٠	١٦٧٠	١٧٣٠	
	لم تحدد	١٣٠٠	التشويه الحرارى الديناميكى عند ٢ كجم / سم ٢ °م
١٠٠	١٢٥	١٢٤	مقدرة تحمله للضغط كجم / سم ٢
لم تحدد	٣٠ %	٣ %	المسامية الظاهرية

ومن الشاموت يصنع الطوب الحرارى للبواشق كذلك يستخدم فى كثير من الادوات المستخدمة فى الصلب مثل عمود الصب .





## ( الفصل الثالث )

### الخلاط

يوجد في وحدات انتاج الصلب خلاط أو أكثر في موقع وسط بين أجهزة انتاج الحديد الزهر وأجهزة انتاج الصلب فينقل الحديد الزهر في بواق تصب في الخلاط حيث يختزن بعض الوقت لحين شحنه في أجهزة الصهر بواسطة بواق شحن .

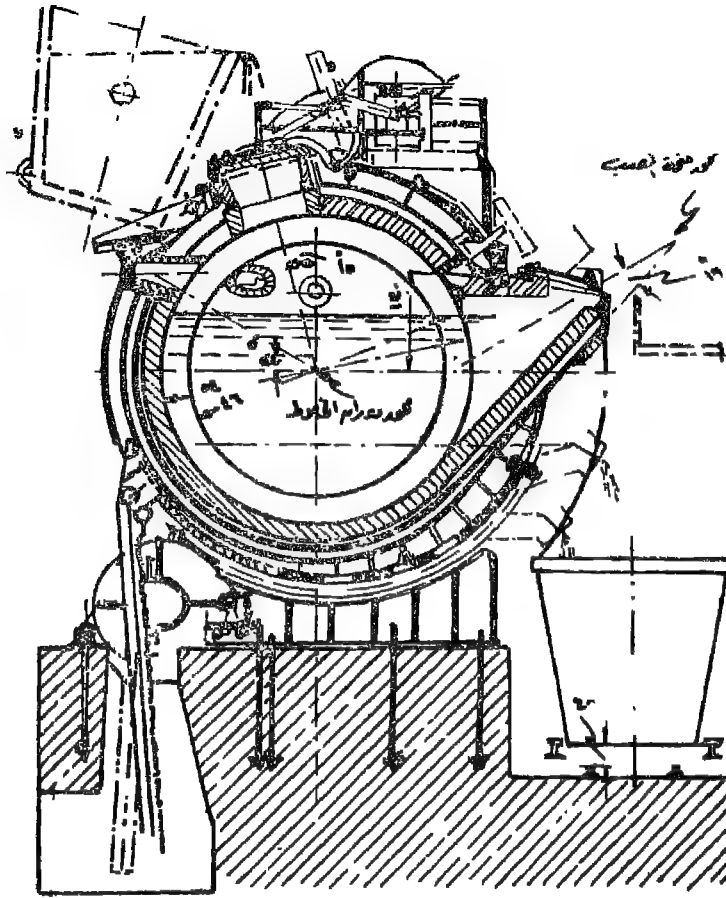
والوظيفة الأساسية للخلاط هي الاحتفاظ بالحديد الزهر منصهرا لحين استعماله حتى يمكن لأجهزة الصهر أن تواصل عملها بكيفية منتظمة ومرضية .

والخلاط وعاء اسطوانى كبير يصنع من ألواح الصلب المبرشمة أو الملحومة ويبطن من الداخل بطوب حرارى .

ويستقر الخلاط على محامل ( كراسى ) خاصة مثبتة في قاعدة متينة من الخرسانة المسلحة ويمكن إمالة الخلاط كهربائيا أو هيدروليكيًا حول محور أفقى بمساعدة اسطوانات تتدحرج على المحامل ، ويراعى عند تصميم الخلاط أن يكون محور دورانها مزاحا قليلا ناحية فتحة الصب حتى تعمل قوة الجاذبية الأرضية على إعادة الخلاط الى وضعه الأسمى ( انظر شكل (٥) .

ولكى يحتفظ الخلاط بأكبر كمية من الحرارة أى يكون الفقد في الحرارة أقل مايمكن يجب أن تكون المساحة السطحية للخلاط أقل مايمكن بالنسبة الى حجمه ويتحقق ذلك عندما تكون النسبة بين طول الخلاط الى قطره مساوية أو أكبر قليلا من الواحد الصحيح .

وللخلاط فتحتان احدهما لشحنه بالحديد الزهر والثانية لصبه منه الى أجهزة الصهر وتغطى كل فتحة بغطاء من الحديد المبطن بالطين الحرارى .



شكل (٥) : خلاط سعته ٦٠٠ طن

وتستخدم غازات الافران والمازوت في توليد الطاقة الحرارية اللازمة  
لحفظ درجة حرارة الحديد المنصهر داخل الخلاط عند ١٣٠٠ درجة م تقريبا .  
وتحدد سعة الخلاط بمعرفة كمية الحديد الزهر اللازمة لتشغيل  
وحدات الصهر من ٨ - ١٠ ساعات .

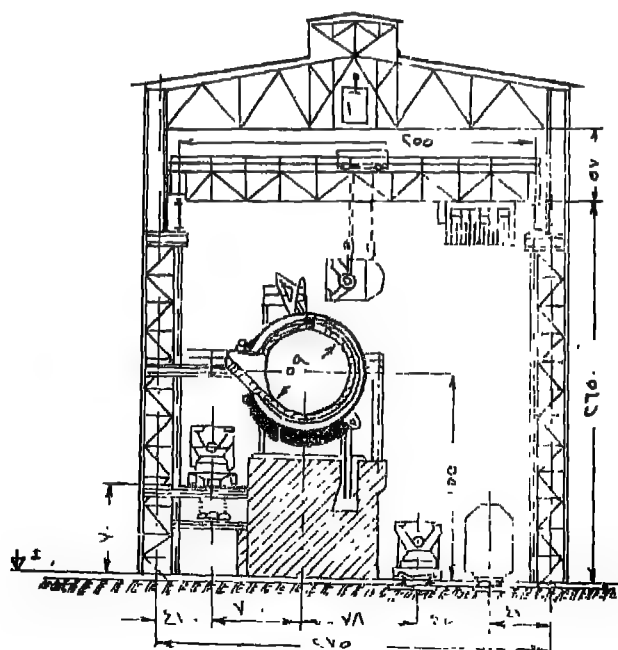
واستعمال الخلاط بسعة مناسبة يحقق الاغراض التالية :

١ - استمرار وحدات الصهر في التشغيل دون ارتباك اذا كان هناك  
أى عطل في الافران العالية أو تأخر الحديد الزهر القادم منها لسبب أو  
لآخر .

- ٢ - العمل على تجانس الحديد الزهر القادم من الافران المختلفة ومن الصببات المختلفة أيضا فتخرج الشحنات الى وحدة الصهر ذات تركيب كيميائي متماثل مما يساعده على انتظام التشغيل فيها .
- ٣ - المحافظة على درجة حرارة الحديد الزهر عند حد معين مناسب حتى تتم التفاعلات الكيميائية بكيفية سلسلة ومنظمة .
- ٤ - اتاحة الفرصة لخفض نسبة الكبريت فى الحديد الزهر الى حد ما وينتج ذلك عن طريق التفاعل الطارد للحرارة الآتى :



وتعتمد ازالة الكبريت من الحديد الزهر على كمية المنجنيز الموجودة به كما تتوقف على زمن نقل الحديد الزهر من الافران العالية بواسطة البواق الى الخلاط حيث ينضم كبريتيد المنجنيز الناتج الى الحث ويشترك فى تكوينه ونتيجة للتفاعل المشار اليه يتكون على سطح الحديد الزهر فى الخلاط بعض الحث المحنوى على نسبة كبيرة من الكبريت ويجب ازالة هذا الحث سواء عند شحن الخلاط بالحديد الزهر أو صبه منه فى بواق شحن أجهزة الصهر .



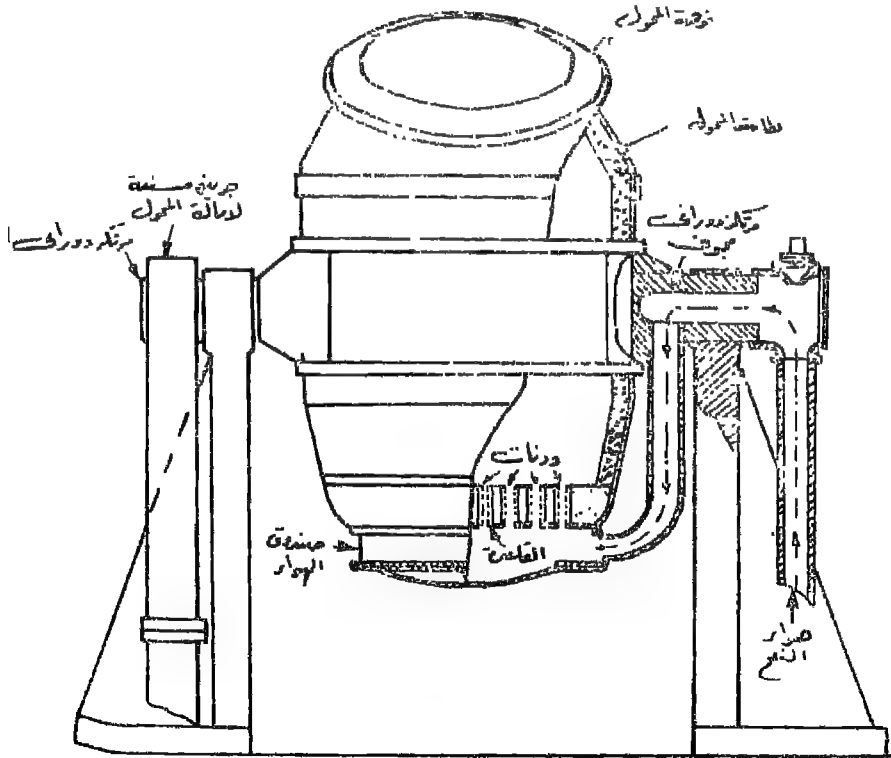
شكل (٦) : قطاع فى قسم الخلاط - وهو مقام فى مصنع حديث لحوالات بسمر .



## الفصل الرابع

### إنتاج الصلب من محولات بسمر

يحدد أبعاد عمالية تحويل الصلب في محولات بسمر بناء على البطانة الحرارية الحامضية للمحول والتحليل الكيميائي للحديد الزهر . وتتم العملية بالاستفادة من الحرارة الفيزيائية للحديد الزهر المنصهر وكذلك الحرارة المتصاعدة نتيجة أكسدة الشوائب بفعل الأكسجين الموجود في هواء النفخ ويعتبر السليكيون هو العنصر الأساسي للإمداد الحراري لصبية المحول ويكون الخبث الناتج من محول بسمر غنيا بالسايكا (سأ) الناتجة عن أكسدة السليكون الموجود في الحديد الزهر والسليكا الموحدة



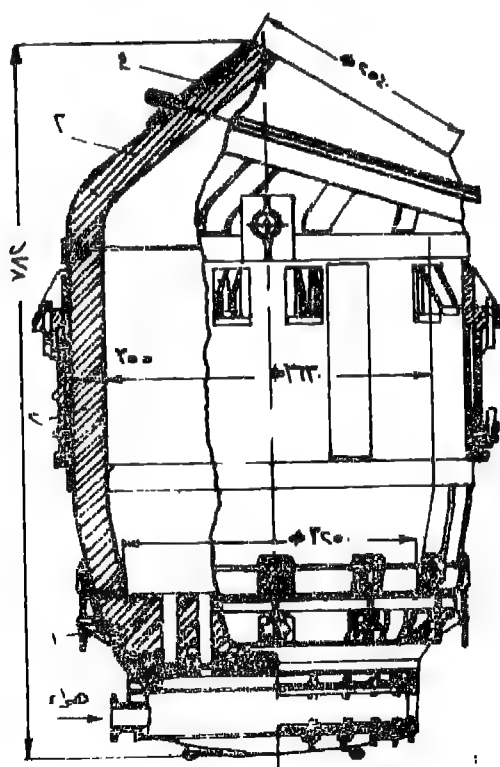
شكل (أ) يوضح تفاصيل المحول ، وكيفية دخول هواء النفخ فيه

في البطانة الحامضية ونعوق الطبيعة الحمضية لخبث محولات بسمر وجود سلبكا غير متحدة ازالة الكبريت والفوسفور من المعدن .

ويدخل الهواء الى المحول فيساعد على تقليب شحنة المحول بشده ويتخلل هواء النفخ حمام المعدن فيتأكسد الحديد في أول الامر باعتباره المكون الاساسي للحديد الزهر وينتشر أكسيد الحديد الناتج عن أكسدة الحديد خلال شحنة المحول مؤديا الى اختزال السليكون والمنجنيز والكربون الموجود في الحديد الزهر . وقد يتأكسد بعض هذه الشوائب مباشرة بالهواء الجوي ويؤدي التقليب الشديد في حمام المعدن الى زيادة مساحة سطح التلامس للتفاعلات بدرجة كبيرة فتتعاظم سرعة التفاعلات .

### ١- تصميم محول بسمر

يبين شكل ( ٩ ) رسما تخطيطيا لاحد محولات بسمر وتبلغ سعته ٣٥ طنا .



شكل (٩) محول بسمر يسع ٣٥ طنا :

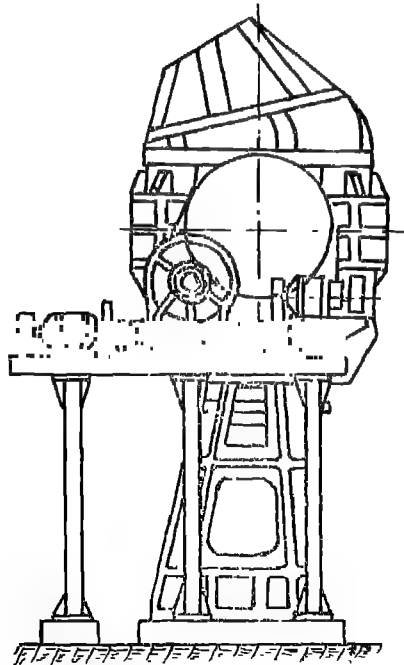
- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| ١ - قاعدة المحول | ٢ - الجزء الاسطوانى |
| ٣ - غطاء المحول  | ٤ - فوهة المحول     |

### جسم المحول :

يصنع من الواح فولاديه سميكة ملحومة مع بعضها البعض او بمسكها مع بعضها سرائط حاكمه . ويتراوح سمك الألواح بين ١٥ - ٢٥ ملليمترًا تبعاً لسعة المحول وينضمّن جسم المحول ثلاثة أجزاء : وعاء اسطوانى له قاعده يمكن تغييرها وجزء مخروطى علوى وفوهه قابلة للاستبدال تصنع من الصلب المصبوب

وتكون قاعدة المحول ذات شكل أسطوانى أو مخروطى ويكون تصميمها بحيث يمكن تثبيت صندوق لهواء النفخ ليمر هذا الهواء من خلاله الى المحول وعند تغيير القاعدة يتم فصلها عن الجزء الاسطوانى وصندوق الهواء \*

ويحيط بالجزء الاسطوانى من جسم المحول حزام مصنوع من الصلب المصبوب ينصل بنرسين مركبين على كراسى تحميل ويكون أحد الترسين مجوفا ليمر خلاله هواء النفخ حتى صندوق الهواء ويرتبط الحزام بجسم المحول بمجموعة من المواسك ( قباقيب ) وعادة يكون قطر الحزام أكبر من



شكل (١٠) : محول قائم على قاعده ، ويرى بالشكل جهاز ادارته بالكهرباء .

قطر المحول وبينهما فجوة هوائية لتجنب الأضرار الناشئة على الحزام من تمدد جسم المحول والحيلولة دون تشوه الحزام ويمكن امالة المحول بواسطة مؤنورين كهربائيين ويمكن لاحدهما منفردا أن يحرك المحول ويكون الآخر احتياطيا .

وأحيانا تتم امالة المحول بطريقة هيدروليكية عن طريق ترس وجريدة مسننة حيث ينصل الترس بحزام المحول وبتحريك الجريدة لأعلى وأسفل يمكن امالة المحول للأمام وللخلف ويبلغ الضغط الهيدروليكي اللازم لتشغيل المحول ٣٠ - ٥٠ جوى .

ويقع محور مركزي الترسين على ارتفاع من الأرض يسمح بدخول عربة تحميل بودقة لتلقى صبة الصلب بعد انتهائها من المحول وكذلك دخول قطار سكك حديدية يحمل وعاء أو بودقة لتلقى خبث الصبة .

### بطانة المحول :

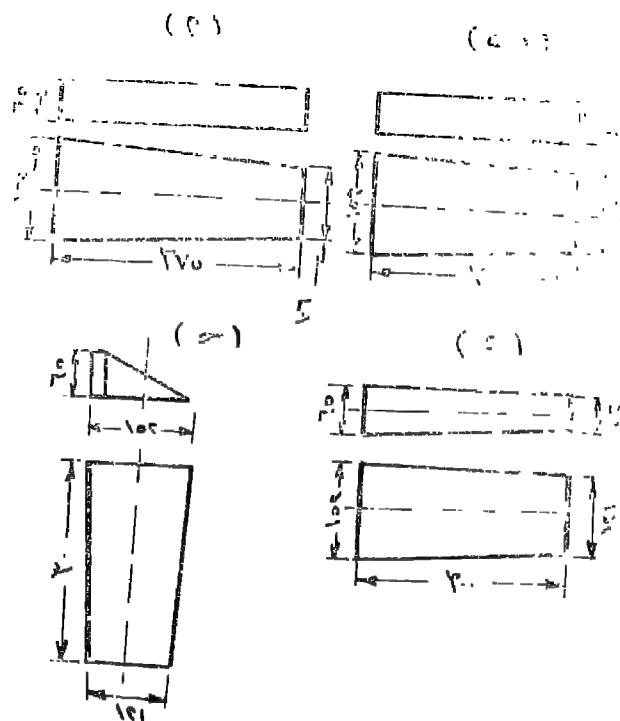
تصنع بطانة محول بسم من طوب ديناس ويتخذ الطوب هيئة تتسق مع شكل جسم المحول وتتفق أبعاده مع قطر المحول .

وتترك مسافة ٣٠ - ٥٠ مم بين طوب البطانة وجسم المحول تملأ بحبيبات ناعمة من نفس مادة الطوب الحرارى بعد خلطها بالمونة اللازمة لتماسكها ، وينراوح سمك البطانة الحرارية بين ٢٥٠ - ٤٠٠ مم ويزداد السمك عند المناطق المعرضة أكثر من غيرها للتآكل . وتحتوى المونة المستخدمة على ٨٠ - ٩٠٪ من مسحوق الكوارتز بحجم حبيبي لا يزيد عن ٠.٢٥ مم واحد ، ٢٠ - ١٠٪ من طفل حرارى مسحوق بعد خلطه بالماء حتى يصبح غليظ القوام . ويراعى تخليط المونة جيدا قبل اضافة الماء واستخدامها فى غضون ٦ ساعات بعد اضافة الماء .

ويوضح شكل (١١) انواع الطوب الحرارى المستخدم فى البطانة وتصنع الصفوف العشرة السفلية من الطوب ( أ ) والجزء الاسطوانى من الطوب ( ب ) بينما يبنى الجزء الكروى والفوهة من النوعين ( ج ) ، ( هـ ) بتوافقات محددة فى كل صف .

وينبغى العناية أثناء التبطين بحيث يوضع الطوب دون تنصيفه أو جزئته مع ملء الفراغات بالمونة جيدا . وبعد انتهاء التبطين ينبغى تحفيف البطانة وتسخينها ( تحميصها ) لتجنب التشقق الذى يمكن أن





شكل (١١) : اشكال الطوب التي ستستخدم لبناء الاجزاء المختلفة من المحول .

يعتريها اذا تعرضت لصدمة حرارية ( تسخين مفاجيء ) وتجرى عملية التجفيف والتحميص بفحم الكوك أو الغاز الطبيعي مع الاستعانة ببعض الاخشاب . في أول الأمر . ويراعى التحكم في درجة الحرارة أثناء التحميص عن طريق ازدواجات حرارية نوضع عند قمة الجزء الاسطوانى من المحول على بعد ٢٠ - ٢٥ مم من السطح الداخلى للبطانة ويعطى البرنامج التالى صورة لعملية التحميص وسيرها :

من ١٠ م حتى ٢٢٠ م بمعدل ٢٠ م فى الساعة لمدة ٧ ساعات  
من ٢٢٠ م حتى ٥٢٠ م بمعدل ٦٠ م فى الساعة لمدة ٥ ساعات  
من ٥٢٠ م حتى ٩٠٠ م بمعدل ١٠٠ م فى الساعة لمدة ٤ ساعات

اجمالى فترة التسخين ١٦ ساعة :

وبعد تدفئة البطانة بالخشب وفحم الكوك ينفخ جزء من الهواء وتتبخر الرطوبة من البطانة نتيجة لذلك ، وبعد نفخ عدد من الصبات فى المحول

براعى فحص البطانة فحصا كاملا وبالعلاج العيوب والتشققات التى قد تظهر بها بواسطة مركب من الكوارتز والطفل الحرارى .

### قاعدة المحول :

تتخذ قاعدة محول بسمر احدى صورتين : اما فاعده جاسنة من الشاموت تحتوى على عدد كبير من الفتحات منتظمة المقطع واما ما يسمى بالقاعدة الابرية التى تحتوى على عدد أقل من الفتحات يصلح اوضع ودنات حرارية من الشاموت الدخول هواء النفخ ويندر استخدام القواعد الأبرية فى محولات بسمر لضعف مقاومة مادة الودنات امام تأثير أكسيد الحديدوز عن القاعدة الشاموت .

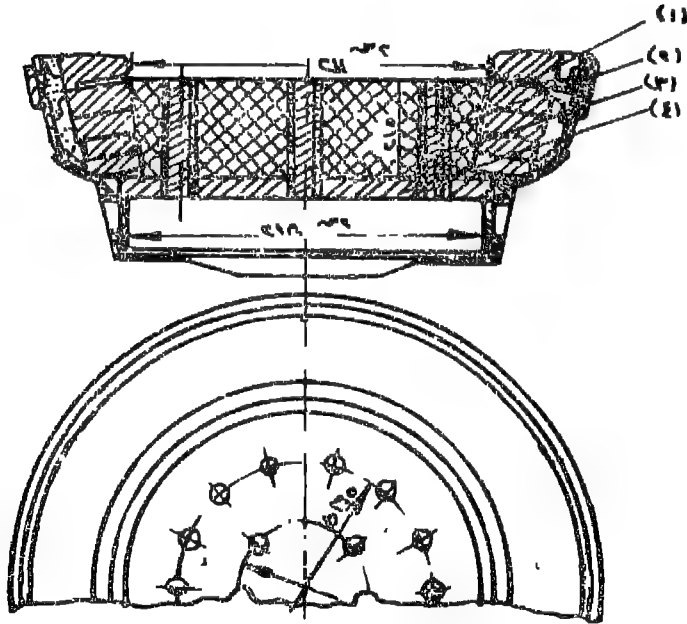
ويراعى أن تكون الخلطة المستخدمة فى ذلك القاعدة خلوا من الشوائب الضارة عند تشغيل القاعدة ويوضح الجدول التالى لنسب الوزنية للخلطات المستخدمة فى ذلك قواعد محولات بسمر ( ٤ خلطات ) .

المواد	الخلطة الأولى	الخلطة الثانية	الخلطة الثالثة	الخلطة الرابعة
مسحوق كوارتز مصنع دن كوارتز مبلور به ٩٥٪ س ٢١ حد أدنى	٥٠	٥٠-٤٠	٣٢	-
طفل كاولين به ٢٠٪ يد ٢١ حد أدنى	٣٠	-	-	-
طفل حرارى لون به ٣٣٪ لو ٢١ حد أدنى	١٠	٢٠-٣٠	٢٨	٢٤
فحم كوك ناعم	١٠	٤-١٠	٤	٨
مسحوق شاموت	-	٢٠-٣٠	٣٦	٦
جانيستر	-	-	-	٥٦
مخلوط قواعد مستعملة	-	-	-	٦

## وتتمثل النسب الحجمية فى الجدول التالى

المادة	٥ مم	٥ - ١ مم	١ - صفر مم
كوارتز	لا يزيد عن ٥	٥٠-٤٠	٥٠-٦٠
شاموت	لا يزيد عن ٣	٤٠-٣٠	٦٠-٧٠
طفل حرارى	-	٣٥-٢٥	٦٥ - ٧٥

وتخلط مكونات الخلطة جيدا وهى جافة ثم ترطب بالمياه بسبب ٦ - ٨ / ويتم ذلك الفراغ بين القاعدة الحرارية وجسم قاعدة المحول بمخلوط لملء هذا الفراغ مع معالجة العيوب الظاهرة فى الطوب المخروطى الشكل وتحتوى المونة الحرارية اللازمة للمخلوط المائى على ٤ أجزاء من الكوارتز ، وجزء واحد من الطفل الحرارى بالوزن .



شكل (١٢) يبين قاعدة من كوكبة تناسب محول بسعة ٢٠ طنا .

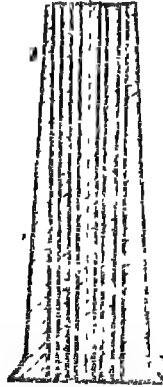
- ١ - الجزء المخروطى
- ٢ - الخليط الحرارى المدكوك
- ٣ - ودنه
- ٤ - اللوح المعدنى

ويجرى ذلك القاعدة على قرص من الحديد الصب به فتحات سطحي  
على سندات القاعدة ويراعى تنظيف القرص من الاتربة والمخلفات قبل أى  
عمل آخر وكذلك تنظيف الجراربات الخاصة بالحلقة المخروطية وذلك  
بالهواء المضغوط وضبط مواضع الفتحات بالقرص على الودنات ثم يدك  
المخلوط بالهواء المضغوط الذى لا يقل ضغطه عن ٥ ضغط جوى ويتم ذلك  
على دليقات منفذاته وبصفه مستمرة وبضغط منتظم وبعد انتهاء ذلك القاعدة  
توضع فى فتحات الودنات سدادات ملائمة لمنع انسدادها أثناء التجفيف  
و التحميص .

وتحمص القواعد فى أفران خاصة يتم اشعالها بغاز الكوك أو بالغاز  
الطبيعى ويستغرق تحميص القاعدة وتبريدها بعد ذلك داخل الفرن ٣٤  
ساعة .

ويبلغ عمر تشغيل قاعدة محمول بسمر المدكوكه ١٥ - ٢٥ صبه  
ويبدأ الحيز الواقع بين القواعد الطوبية والودنات بطوب ديناس مع مونة  
سائلة من الكوارتز ( ١٢ جزءا ) والطفل الحرارى ( جزء واحد ) بعد الخلط  
مع محلول مائى لسائل كبريتيدى ويسنمر أداء القواعد الطوبية ١٢٠ -  
١٣٠ صبه ولكن استخدامها لبس شائعا اذا يسنلزم الأمر تغيير الودنات  
كثيرا أثناء التشغيل .

ويجرى تغيير القاعدة بواسطة عربة سكة حديد مجهزة خصيصا  
لهذا الغرض .



شكل (١٣) : قصبه من النساموت بها ١٢ فتحة للهواء ... نظر كل منها ١٦ م .

وتحتوى القواعد المدكوكه على ٢٠ - ٣٥ ودة بينما تحتوى القواعد  
الطوبية على ٧ - ١٢ ودة ويؤدى زيادة عدد الودنات عن ذلك الى الاضرار  
بالبطانة .

## عمل البطانة :

تتأثر بطانة المحول وقاعدته بتأثير الفعل الميكانيكي والكيميائي للمعدن والمليب ويبلغ التأثير أقصاه عند القاعدة والجزء السفلي من البطانة وتبلغ درجة الحرارة ودرجات أكسيد الحديد أقصى حد لهما في مناطق التفاعلات عند الودنات ويتفاعل أكسيد الحديد مع السليكا الموجودة في البطانة وفي النهاية تتلف البطانة وكلما زادت لزوجة الحبت تبعا لنسبة السليكا به كلما ازداد احتمال البطانة ويؤدي زيادة نسبة المنجنيز في الحديد الزهر الى تكوين حبت أكثر سيولة يحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد المنجنيز يؤثر على البطانة الحمضية للمحول .

كما تتأثر البطانة كذلك بالتيارات الدوامية للمعدن والخبت أثناء النفخ وتبعا لطبيعة العملية ( تحليل الحديد الزهر ، ودرجة حرارة التشغيل ، والطريقة المتبعة لتبريد المعدن في المحول ، وضغط الهواء ١٠٠ الخ ) فان البطانة المصنعة من طوب ديناس يمكن أن تستمر ١٣٠٠ - ٢٠٠٠ صبة ويراعى ازالة المخلفات التي تلتصق بفوهة المحول من حين لآخر اذ أن زيادة وزنها يمكن أن تؤدي الى تدمير مباني الفوهة وتستمر حراريات الفوهة عادة ٣٠٠ - ٤٠٠ صبة في الظروف العادية قبل أن يتطلب الأمر تغييرها وتجرى عدة عمليات ترميم للبطانة أثناء تشغيلها

## الأبعاد الأساسية لمحولات بسمر :

يعتمد تصميم المحول على الحجم النوعي له وهو الحجم اللازم لطن واحد من الشحنة وكلما ازداد الحجم النوعي تنخفض شدة القذف وبالتالي يزداد العائد من المعدن ويجب أن يزداد الحجم النوعي عن واحد صحيح .

ويتمدد القطر الداخلى للمحول من الصيغة :

$$ح = ٠.١٤ \times \frac{ط ق}{٤} \times ع$$

حيث

$$٠.١٤ = \text{الحجم النوعي للمعدن م} / ٣ \text{ طن}$$

$$و = \text{وزن المعدن في المحول ( وزن شحنة الحديد الزهر ) بالطن}$$

$$ق = \text{القطر الداخلى للمحول بالمتر}$$

$$ع = \text{ارتفاع المعدن داخل المحول بالمتر}$$

ويبلغ ارتفاع الجزء الأسطوانى من المحول ( ١١ - ١٢ ) ق ، وكلما ازداد الارتفاع كلما انخفض القذف ويبلغ القطر الداخلى للفوهة

( ٠٤ - ٠٦ ) في ونؤدى زيادة قطر الفوهة الى زيادة القذف وانخفاض العائد من المحول وعادة ما تخضع هذه الابعاد للظروف النوعية الخاصة بكل وحدة .

وتتأثر سدة التأكسد وكذلك سدة القذف « القطاع الدائرى » وهو الفرق بين المساحة الداخلية للمحول ومساحة القاعدة وتبلغ المساحة الاجمالية المودنات لكل واحد طن من شحنة الحديد الزهر ٩ - ١٥ سم ٢ .

ويتراوح سمك القواعد الجديدة بين ٥٠٠ - ٧٠٠ ميللتر وتحدددها الصيغة الجبرية التالية :

$$\text{سميك القاعدة} = ٠.٤ + ٠.٧ \text{ ر، حيث}$$

$$\text{ق} = \text{القطر الداخلى للمحول بالامتر} .$$

## ٢ - المواد الأولية لشحنة بسمر

### الحديد الزهر :

من البديهي أن التركيب الكيميائى للحديد الزهر يؤثر الى حد بعيد فى سير العملية حيث أن أكسدة الحديد والسليكون والمنجنيز والكربون هى المصدر الوحيد للحرارة التى تكفل لنا الحصول على صلب منصهر عند درجة الحرارة المطلوبة .

واذا ارتفعت درجة الحرارة الطبيعية للحديد الزهر الداخلى الى المحول أدى ذلك الى انخفاض نسبة الشوائب التى تتأكسد وبالتبعية الى اثبات كمية حرارة أقل ويحدث نفس الشئ عندما تتوالى الشحنات تباعا وبمعدل كبيرة وكانت بطانة المحول لا تقدر الا القليل من الحرارة .

ويبين جدول ( ١ ) التركيب الكيميائى النمطى لشحنة بسمر

النسبة المئوية للعناصر				درجة رتبة
س	م	فو	كب	
١٢٦-١٧٥	٦-١٢	٠.٧	٠.٦	١
٧-١٢٥	٥-٨	٠.٧	٠.٦	٢

وتتراوح نسبة ما يحتويه الحديد الزهر من الكربون بين ٣.٨ - ٥.٥٪ وقد وجد أن التركيب الكيميائي الأمثل للحديد الزهر اللازم لصنع القضبان الحديدية في محول سعبه عشرون طنا ودرجة حرارة بطائنه ١٠٠٠م ودرجة حرارة الحديد الزهر بين ١٢٧٠ - ١٢٩٠م ( مقاسة بواسطة بيرومتر ضوئى دقيق وبدون أى تصحيح ) كما يلى :

س	٩-١١٪	كب	٤٥٪ على الأكثر
م	٦-٩٪	فو	٠.٦٦٪ على الأكثر

وقد وجد أنه يمكننا الحصول على أفضل النتائج فى حالة صب الصلب من أعلى اذا احتوى الحديد الزهر على ٠.٧ - ٠.٩ ٪ من السليكون ويؤدى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر المنفوخ الى ارتفاع الفاقد من الصلب كما يؤدى الى قصر عمر الودنات وحجرة الصهر بالمحول ويرجع ذلك الى تكوين مخلفات بسبب تراكم طبقات الحبث السليكونى تباعا . هذا بالإضافة الى أن فترة النفخ نستغرق وقتا طويلا .

وتعمل زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر المنفوخ ( أكثر من ٩٪ ) على خفض عمر البطانة والقاعدة والودنات .

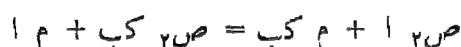
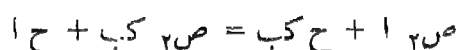
وبارنماع نسبة أكسيد المنجنيز ( م أ ) فى الحبث بزداد كثيرا درجة سيولته مما يجعله عاجزا عن تصيد المقذوفات الحديدية التى تنطلق بغزارة مختربة طبقة الحبث ويتآكل القاعدة والبطانة فان الصلب الناتج يحتوى كثيرا من الشوائب غير المعدنية مما يفسد الكثير من خواصه ويحط من قيمته .

ومن الاهمية بمكان ان نعلم أن السبب بين كمية السليكون وكمية المنجنيز لا تقل أهمية عن مقاديرهما المطلقة . فقد أثبتت التجارب أنه يمكننا الوصول الى أحسن النتائج اذا كانت نسبة السليكون بالمنجنيز تقع بين ١.٨ - ٢ فاذا قلت النسبة عن ذلك نكون لدينا حبث يحتوى على كمية كبيرة من م أ نجعله ذا سيولة كبيرة وتساعد حراريات المحول على أن تبلى بسرعة ويكون الصلب الناتج منخفض الجودة .

أما اذا تعدت النسبة الحد الأقصى كان هذا سببا فى تكوين طبقات على المحول نتيجة لتكون حبث يحتوى على نسبة عالية من السليكا .

وفى كثير من الاحيان نعمل على ازالة الكبريت فى الحديد الزهر باضافة كربونات الصوديوم ( صودا آش ) فى البودقة فتتحلل كربونات

الصوديوم بواسطة الحرارة الى أكسيد الصوديوم الذى يتفاعل مع كبريتيد الحديدوز . كبريتيد المنجنيز ، منتجاً كبريتيد الصوديوم



الذى لا يذوب فى الحديد الزهر فتتكون طبقة من الحبث الكبريتى نظمو على سطح الحديد الزهر فى البودقة . وهذه الطبقة من الحبث يجب تسطها بعيداً عن الخلط والمحول حتى لا ينف البطانة الحرارية وحتى لا تزيد شدة المقذوفات الحديدية اذ أن وجود أى أنار من كربونات الصوديوم بالحديد الزهر المنفوخ يساعد على انطلاق هذه المقذوفات بخرارة ولهذا كان لزاماً علينا أن نزيل كل الحبث المتكون نتيجة لاضافة كربونات الصوديوم بعيداً عن المحلول كما يجب علينا أن نراقب بكل دقة أى انخفاض فى درجة الحرارة يطرأ على الحديد الزهر بسبب اضافة الكربونات ( اذ أن تحليلها تفاعل ماص للحرارة ) .

ولانخفاض درجة حرارة الحديد الزهر تمتد فترة النفخ طويلاً عن معدلها العادى كما تزداد فرصة هروب الحديد مع الفازات المتصاعدة بشدة من المحول نتيجة لدرجة السيولة الكبيرة التى يضيفها على الحبث وجود وفرة من أكسيد الحديدوز به ولهذا السبب فانه يتحتم علينا أن نعمل بكل الوسائل على الحفاظ على درجة الحرارة التى تعطى لحديد الزهر السيولة المناسبة فى الخلط وايضاً أثناء نقله من الخلط الى المحول .

ومن المستحسن عملياً أن نذر بعض فحم الكوك الناعم على سطح الحديد الزهر فى البودقة لتغطيتها بغطاء مناسب وأن يتم نقله الى المحول بسرعة كما يجب أن تتراوح درجة حرارة الخلط من الداخل بين ١٣٠٠ - ١٣٥٠ درجة مئوية .

### الخرقة :

ينحصر الغرض الرئيسى من اضافة الخرقة الى المحول فى تبريد شحنة الحديد الزهر اذا قفزت درجة الحرارة فوق معدلها المناسب ومن الطبيعى أن نزداد كمية الخرقة المضافة اذا تم النفخ بالهواء المزود بالاكسجين أو الاكسجين النقى .

ومن الأهمية بمكان فانه يجب ألا تتعدى نسبة الكبريت والفوسفور فى الخرقة عن مثيلتها بالصلب المزعم انتاجه . وتضاف الخرقة قبل أو أثناء النفخ .



الحديد والنيكل والزنك والنتيجة عن عمليات الترسيل ( النفايات ) :

يضاف خام الحديد أو النفايات المعدنية الناتجة عن عمليات الدرفله في المحول بالشحنة وبهذا يتحقق هدفان أولهما تبريد الشحنة اذا كانت درجة حرارتها مرتفعة وثانيهما زيادة الناتج من الصلب نتيجة لاختزال الحديد والنفايات .

وبسبب في الخام المضاف أن يكون غنيا بالحديد فقيرا للكبريت والفوسفور .

التحليل الكمي لخام بسمر ( ويعطى التحليل الكمي لخام بسمر المستخرج من مناجم كريفورج النتائج الآتية ) :

ح ٢ أ	٨٩-٩٥٪	فـو	٠.٣٪
س أ	٤-٩٪	كـب	٠.٢-٠.٤٪
لو ٢ أ	١-٣٪		

وتحتوى النفايات المضافة الى الشحنة على نسبة أقل من السليكا ( ٢ - ٣٪ ) بينما تصل نسبة الحديد فيها الى حوالى ٧٠٪ وهى نسبة أكبر من تلك التى يحتويها الخام .

#### المختزلات والسبائك الاضافية :

يقوم الفيرومنجنيز بنزع الأكسجين من صلب بسمر الفوار والمخمد كما يقوم أيضا كل من الفبروسليكون والألومونيوم بنفس الدور وفى بعض الحالات الخاصة يستعمل السليكومنجنيـز وغيره من السبائك الأخرى .

وتستعمل السبائك الحديدية لنزع الأكسجين من الصلب المنخفض الكربون أما فى حالة الصلب الكربونى فتصهر أولا فى فرن الدست أو الفرن الكهربائى أو غيرها ثم تستعمل بعد ذلك .

#### الحديد الزهر المرأوى :

ويضاف الى صلب بسمر الكربونى منصهرا ليقوم بنزع الأكسجين منه ويتوقف تركيبه الكيميائى تبعاً لرتبه المختلفة فيتراوح ما به من منجنيز بين ١٠ - ٢٥٪ ، الكربون ( ٤ - ٥٪ ) ولا يزيد السليكون على ٢٪ ، ولا يتعدى ما يحتويه من فوسفور ٢٢٪ أما الكبريت فيجب أن لا يحتوى على أكثر من ٠.٣٪ .

### الفيرومنجينز :

ويستعمل لنزع الأكسجين من صلب بسمر اما صلبا أو منصهرا ومن الطبيعي أن هذا الفيرومنجينز الذي يتم صنعه في الأفران العالية - الأفران اللافحة يجب أن يخضع لمواصفات معينة فيحتوى على ٧٦٪ كربونا ، ٧٠ - ٨٠٪ منجنيزا ، حوالى ٢٪ سليكونا ، ٣-٤٪ من الفوسفور كحد أقصى ( وذلك للرب ، للدرجات المختلفة منه ) ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠.٣٪

وفي الحالات الخاصة التى يكون المطلوب فيها إنتاج صلب يحنوى على نسبة منخفضة من الكربون ونسبة عالية من المنجنيز يستخدم فيرومنجنيز لا نقل نسبة المنجنيز به عن ٨٠٪ .

### الفيروسليكون :

يستخدم الفيروسليكون لنزع الأكسجين من الصلب المخمد ويمكن تقسيم الفيروسليكون الى ثلاث درجات بعا لما يحتويه من سليكون :

( ١ ) ٨٧ - ٩٤ ٪ .

( ٢ ) ٧٢ - ٧٨ ٪ .

( ٣ ) ٤٣ - ٥٠ ٪ والقسم الأخير هو الأكثر انتشارا فى صناعة الصلب .

وعند نزع الأكسجين من الصلب الكربونى بواسطة العوامل النازعة له وهى فى حالة الانصهار يضاف فى بعض الأحيان سبيكة الفيروسليكون الى شحنة أفران الدست أو الأفران الصهارة . وهذه السبيكة تحتوى عادة على أكثر من ١٣٪ سليكونا .

### السليكومنجينز :

يفتصر استعمال هذه السبيكة على نزع الأكسجين من صلب بسمر المخمد وتكون جاهزة للاستعمال بعد صهرها فى الأفران الكهربائيّة . ويختلف تحليلها الكمي من درجة لأخرى . فهى تحتوى على ١٤ - ٢٠٪ سليكونا وأكثر ، و ٦٠ - ٦٥٪ منجنيزا على الأقل ويجب ألا تزيد نسبة الكربون عن ١ - ٢.٥٪ اما الفوسفور فجب ألا تتعدى نسبته ٠.١ - ٠.٢٪ .

### الألومنيوم الإضافي :

يضاف الى صلب بسمر المخمد لنزع ما به من أكسجين على شكل كرات صغيرة تحتوى على حوالى ٨٧ - ٩٦٪ من فلز الألومنيوم وتمثل النسبة الباقية الشوائب الموجودة بالسبيكة مثل السليكون ، والنحاس ، والزنك .

### السليكو كالسيوم :

يندر استخدامه لنزع الأكسجين من صلب بسمر وتصل نسبة الكالسيوم فى هذه السبيكة الى ٢٣ - ٣١٪ وربما أكثر تبعا للدرجات المختلفة للسبيكة ولكن نسبة السليكون والكالسيوم معا يجب أن تكون على الأقل ٨٥ - ٩٠٪ ومن الشوائب التى توجد مندمجة مع هذه السبيكة عنصر الألومنيوم الذى قد تصل نسبته الى ١٥ - ٣٪ .

### فيروتيتانيوم :

تعتبر سبيكة الفيروتيتانيوم أفضل العوامل النازعة للأكسجين وأحيانا تضاف الى الصلب لتحسين خواصه الميكانيكية .

وتبعا لدرجة هذه السبيكة يتغير تركيبها الكيماوى فهى تحتوى على أكثر من ٢٣ - ٢٥٪ من التيتانيوم على شوائب أهمها :

الومنيوم ٥ - ٨٪ على الأكثر ، نحاس ٣ - ٤٪ وسيلكون بكميات متفاوتة ولكن نسبة السليكون الى التيتانيوم فى السبيكة تتراوح بين ١٨ ر - ٢٨ ر .

### فيروكروم :

من النادر أن يضاف الى صلب بسمر سبيكة الفيروكروم ولكنه يحتوى على عنصر الكروم لغاية ٢٥٪ ويستخدم فى صنع ألواح الصلب الرقيقة . وقد يضاف اليه جزء من سبيكة الفيروكروم حتى يصل الكروم بـ الى ٦ ر - ٨ ر٠٪ .

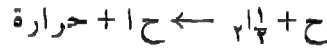
وفى الاتحاد السوفيتى تقسم سبائك الفيروكروم الى عشرة رتب عيارية استنادا الى نسبة ما تحتويه من كربون وتقع هذه النسبة بين ٠.٦ - ٨.٠٪ ويشترط ألا تقل نسبة الكروم بالسبيكة عن ٦٠ - ٦٥٪ كما يجب ألا تزيد نسبة السليكون فى لسبيكة من جميع الرتب عن ١.٥ - ٣.٥٪ .

### ٣ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات

التي تحدث في المحول بسهر

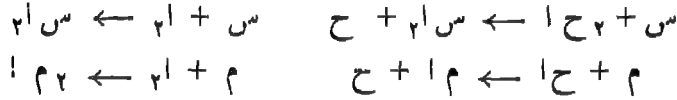
#### الفترة الاولى :

في أول الامر يساثر عنصر الحديد بكل الأكسجين الموجود بهواء النفخ والداخل بالمحول خلال الفونيات الموجوده بالقاعدة ومخترقا ودنات الهواء ويتأكسد مكونا اكسيد الحديدوز كما في المعادلة الآتية :



وبمجرد تكوين اكسيد الحديدوز يصبح المصدر الرئيسي لتمويل الاكسجين بشدة فيتأكسد السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز الى ثاني اكسيد السليكون ، وأكسيد المنجنيز على الترتيب .

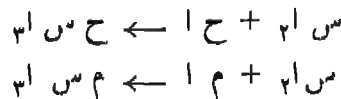
ولكن جزءا صغيرا من السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز يتمكن من التأكسد مباشرة بواسطة الاكسجين الموجود بهواء النفخ - تبعا للتفاعلات الآتية :



وفي خلال هذه الفترة يحترق الكربون ببطء شديد مكونا أول اكسيد الكربون ، الذي يحترق جزئيا داخل المحول .

وتحتوى الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة ( اذا كان النفخ بالهواء فقط ) على ٨٥ - ٩٠ ٪ نروجينا أما أول اكسيد الكربون فيكاد يكون منعما ولهذا فان شعلة اللهب التي تظهر عند فوهة المحول تكون قصيرة وضعيفة الاضاءة .

وتنحد السليكا مع اكسيد الحديدوز وأكسيد المنجنيز لتكون سليكات الحديد والمنجنيز على الترتيب :



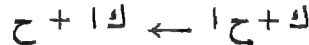
وبجانب السليكا المتكونة نتيجة لتأكسد عنصر السليكون الموجود بالحديد الزهر فان بطانة المحول تقدم جزءا منداعيا منها ليشترك في تكوين الخبت الذي يحتوى خلال هذه الفترة على حوالى ٥٠ ٪ منه سليكا ،

١٥ - ٢٠ ٪ أكسيد حديدوز ويتكون هذا الخبث أثناء الفترة الاولى من فترات النفخ في محول بسمر .

وتستغرق هذه الفترة وقتا يتوقف أساسا على درجة حرارة «شحنة» الحديد الزهر الداخلة بالمحول وبارتفاع درجة حرارة الشحنة تقل هذه الفترة وليس هذا مقياسا مطلقا فاذا ما وصلت درجة الحرارة الى درجة انتسخين المفرط أصبح الكلام عن سلوك الحديد الزهر في هذه الفترة دربا من التكهنات ولا يمكننا الجزم بنتائجه .

### الفترة الثانية :

بتأكسد كل من السليكون والمنجنيز ترتفع درجة حرارة شحنة الحديد داخل المحول وعندئذ يبدأ الكربون في التأكسد بشدة وصحب ويتأكسد الكربون اساسا في محول بسمر تبعا للتفاعل الآتي وبصحب هذا التفاعل امتصاص كمية من الحرارة :



ويتأكسد جزء ضئيل من الكربون مباشرة كما يلي :



وتبعا للتفاعلات السابقة ترتفع نسبة أول أكسيد الكربون في الغازات المنبعثة من المحول الى ٣٠ ٪ وعند فوهة المحول يحترق أول أكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء الجوى محدثا شعلة رهيبة من اللهب ذات ضوء ساطع يمتد طولها قرابة ٥ - ٦ أمتار .

ويستبد الكربون وحده بالفترة الثانية من فترات النفخ ومستغلا جزءا كبيرا من أكسيد الحديدوز للحصول على الأكسجين اللازم لأكسده مما يؤدي الى انخفاض كمية أكسيد الحديدوز في الخبث . وبتداعى بطانة المحول وتاكلها ترتفع كثيرا نسبة السليكا في الخبث كذلك فان ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة كمية السليكا أيضا .

والنسب الآتية قرين كل مركب توضح التركيب الكيميائي النمطي

للمخبث : - أثناء الفترة الثانية .

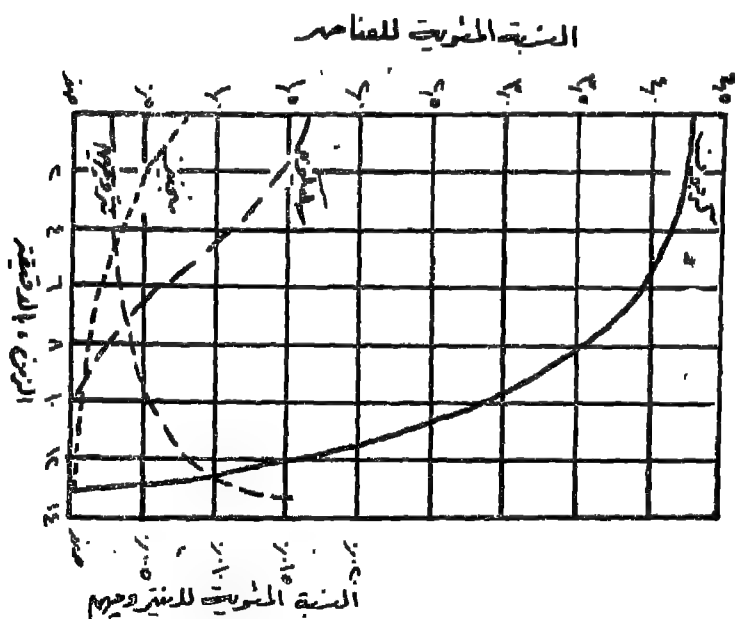
س ا ٢	٦٥١	ح ٢ أم	٤٦٦
لو ٢ ٣	١٧٤	ح	١٢٦١
كا ٢	١٨	م ا	١٤٢ ٢
ح ا	١٢٠٠	فو ا	٠٤ ٨

وفي هذه الفترة أيضا يستمر تأكسد كل من السليكون والمنجنيز ولكن بمعدل منخفض للغاية عن الفترة الاولى .

### الفترة الثالثة :

وهي آخر فترات النفخ في محولات بسمر وتظهر هذه الفترة في حالة انخفاض نسبة الكربون وتبدأ هذه الفترة بانخفاض مفاجيء في معدل تأكسد الكربون الى أول اكسيد الكربون ويظهر جليا في انكماش طول شعلة اللهب وتنبعث أبخرة بنية كثيفة من فوهة معلنة عن تأكسد الحديد بشدة ولا تمتد هذه الفترة لأكثر من ثوان قليلة .

وللحصول على صلب متوسط الكربون يمكننا إنهاء عملية النفخ أثناء الفترة الثانية عندما تصل نسبة الكربون بالصلب النسبة المطلوبة .



شكل (١٤) : التغيرات الكيميائية التي تطرأ على المعدن المنصهر في محول بسمر سبعة  
٢٥ ط

## ٤ - تغيير التركيب الكيميائي لكل من الصلب

### والخبث اثناء عملية النفخ

يوضح شكل (١٥) التغيير في التركيب الكيميائي للحديد والخبث وكذلك التغيير في درجات الحرارة طوال فترة النفخ .

وكمثال عملي اليك البيانات الاحصائية لسير عملية النفخ لشحنة من الحديد الزهر :

وزن الشحنة ١٩٥ طن

التحليل الكمي للشحنة %	فو	كب	س	م	ك
٠.٦	٠.٣٦	١.٥٨	٨.٢	٤.١	

درجة حرارة الحديد الزهر ١٢٥٠ درجة مئوية

الارتفاع في درجة الحرارة نتيجة عمليات الأكسدة ٣٦٠ درجة م .

( عادة يكون الارتفاع في درجة الحرارة بين ٣٥٠ - ٥٠٠ درجة م تبعاً للتركيب الكيميائي للحديد الزهر وكمية الإضافات السبائكية والمبردة وظروف تشغيل النفخ وتصميم قاعدة المحول ) .

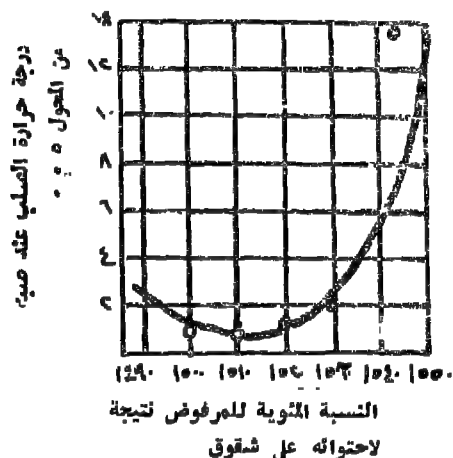
وبشبهت العوامل الأخرى فإن عدداً قليلاً من الفتحات ذات الأقطار الكبيرة ( القاعدة من الطوب ) تهبط ارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة عن العدد الكبير من الفتحات التي توجد في القواعد التي تصنع دكا . ويعزى الارتفاع الطفيف في درجة حرارة المعدن خلال الفترة الثانية إلى التفاعلات الماصة للحرارة التي تصاحب تأكسد الكربون بواسطة أكاسيد الحديد .

ومما هو جدير بالذكر أن مقدار السليكون المتخلف من عمليات الأكسدة أي المتبقى بالصلب يتخذ مقياساً صحيحاً لدرجة حرارة الصلب فإذا كانت درجة الحرارة عالية وصلت نسبة السليكون بالصلب إلى حوالي ١٥٪ بينما تصل هذه النسبة إلى حوالي ٣٪ - ٥٪ عند درجات





الحرارة المعتادة • ويوضح شكل (١٦) بياناً العلاقة بين كتلة من الصلب الفوار ودرجة الحرارة التي عندها يصب الصلب من المحول • ونزداد المقذوفات الحديدية عند درجة حرارة ١٥٤٠ درجة م - ١٥٥٠ درجة م ( مقيسة بواسطة بيرومتر ضوئي بدون أى تصحيح ) ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة السليكون المتخلف في الصاب اذ تبلغ نسبته ٠.٦- ٠.١٠٪ نظراً لارتفاع درجة حرارة الصلب اثناء سير العملية •



شكل (١٦) رسم بياني يوضح العلاقة بين نسبة المرفوض من الصلب نتيجة لاحتوائه على شقوق ودرجة حرارة الصلب عند صبه من المحول •

وطوال عملية النفخ تزداد نسبة ما يحتويه الصلب من نتروجين وفي اثناء المرحلة الاولى من مراحل النفخ حيث تكون نسبة الكربون عالية يكون معدل تأكسده منخفضاً وتكون درجة الحرارة هي الأخرى مازالت منخفضة فان ذوبان النتروجين في الصلب يكون في حدود ٠.٢ ر - ٠.٨ ٪ •

وبارتفاع درجة الحرارة تنخفض نسبة الكربون في الصلب بنسبة تأخذ نسبة النتروجين في الارتفاع حتى تصل الى ٠.٢٣ ٪ في نهاية العملية •

وتتوقف كمية النتروجين الذائب بصلب بسمر على عدة عوامل أهمها :

- (أ) كمية الكربون في الصلب ومعدل تأكسده •
- (ب) درجة حرارة الشحنة •

(ج) ارتفاع المعدن فوق ودنات النفخ •

(د) ظروف تشغيل النفخ ( ضغط الهواء المنفوخ وطبيعة النفخ ) •

ويساعد كثيرا انخفاض نسبة الكربون بالصلب على ذوبان نسبة أكبر من النتروجين فيه في حين أن ارتفاع معدل تأكسد الكربون وبالتالي تصاعد فقاعات أول أكسيد الكربون المتكون بشدة يعمل على طرد كمية أكبر من النتروجين المذاب •

ومن الطبيعي أن ارتفاع درجة الحرارة من شأنه أن يزيد من سيولة المعدن الأمر الذي ينجم عنه تجزئ المعدن الى قطرات صغيرة فتزداد المساحة المعرضة لهواء النفخ وتكون الفرص متاحة لامتصاص كمية أكبر من النتروجين •

ولقد أثبتت التجارب العملية أنه بارتفاع طبقة المعدن داخل المحول يزداد ما يحتويه الصلب من نتروجين بفرض ثبوت العوامل الأخرى ، ويرجع هذا الى طول عمود الهواء المخترق لطبقة المعدن مما يجعل فرصة التلامس أكبر •

وبزيادة ضغط الهواء تتسع منطقة تلامس المعدن بالهواء مما يؤدي الى امتصاص كمية أكبر من النتروجين رغما عن قصر مدة النفخ • وبتزويد الهواء المنفوخ بالأكسجين النقي ينخفض الضغط الجزئي للنتروجين فيقل معدل امتصاصه في الصلب كما أن زيادة الضغط الجزئي للأكسجين يزيد من معدل أكسدة الكربون محدثا فورانا يساعد على طرد النتروجين من الصلب • وبانتهاء أكسدة الكربون يأخذ تركيز الأكسجين بالصلب في الزيادة وبتثبيت العوامل الأخرى فإن درجة تأكسد المعدن تتحدد سلفا بنسبة ما يحتويه من كربون مع اعتبار عوامل التشغيل في الدرجة الثانية ، هذا وتتحكم فتحات الهواء بحجمها الفعلي لكل طن من الشحنة في مقدار ما يفقده المعدن نتيجة لأكسدته كما تتحكم أيضا في درجة الأكسدة فتزداد كلما كبر حجم هذه الفتحات •

وعندما يحتوي الصلب على حوالي ٠.٥٪ كربونا تتراوح نسبة الأكسجين به بين ٠.٤٧ - ١.٠١٪ وكقاعدة فإنه يكون في المتوسط حوالي ٠.٦٧٪ وإذا كانت نسبة الكربون من ١ - ١.٣٪ كانت نسبة الأكسجين الذائب ٠.٣٥ - ٠.٨٢٪ وعادة تكون ٠.٤٩٪ •

وتبلغ نسبة الأكسجين بصلب « القضبان » ٠.٠٩ - ٠.٢١٪ إذا احتوى على ٥ - ٦.٥٪ كربونا وعادة تكون نسبة الأكسجين به ٠.١٦٪ ( هذا اذا توقف النفخ عند نسبة عالية من الكربون ) •

وترتبط كمية الاكسجين الذائبة بالصلب بمقدار وطبيعة الشوائب غير المعدنية الموجودة به وفي صلب بسمر الفوار تصل نسبة هذه الشوائب غير المعدنية والموجودة كأكاسيد الى حوالى ٠.١٦٦ ر - ٠.٤١٦٪ من وزن المعدن بينما لا تتعدى هذه النسبة ٠.١ ر - ٠.٢٥٪ فى الصلب المصنوع بواسطة الأفران المفتوحة ( سيمنز مارتن ) حيث تنخفض كمية المعدن المتأكسد ( والتغير فى المكونات الأساسية للخبث أثناء عملية النفخ ( ممثلة بيانيا فى شكل ١٥ ) ، حيث يحتوى الخبث على ١.٣ ر - ١.٨٢٪ من أكسيد الألومونيوم ، ١.٢٦ ر - ٢.٩٢٪ أكسيد الكالسيوم ، ٣ ر - ١.٠٥٪ أكسيد ماغنسيوم .

أجريت عدة تجارب على شحنة من حديد زهر ذى تركيب كيميائى مجدد وفى ظروف معينة بإضافات محسوبة لتنتج فى النهاية كتلا من الصلب ذات جودة عالية وقد وجد أن القصور الحرارى للحديد الزهر ينسبب فى تخفيض درجة حرارة الصلب الناتج ، ومثل هذا القصور يكون نتيجة اما لانخفاض كمية السليكون والمنجنيز بالحديد الزهر واما لانخفاض درجة حرارة شحنة الحديد الزهر الداخلة فى المحول وبرودته من الداخل أو لكلا هذين السببين . وبإضافة كمية السليكون أثناء الفترة النائية من فترات النفخ فى صورة سبيكة الفيروسليكون التى تحتوى على حوالى ٤٥٪ من السليكون الى الشحنة يمكننا ليس فقط تعويض مثل هذا القصور الحرارى بل ورفع درجة حرارة الصلب الناتج .

وتتولد هذه الحرارة من أكسدة كمية السليكون المضافة الى الشحنة وإذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة للبرودة النسبية لدرجة حرارة شحنة الحديد الزهر الذى يحتوى على كمية كافية من السليكون أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المحول الداخلية فان نفخ المحول وهو فى وضع مائل لمدة دقيقتين أو ثلاث يكون كافيا لرفع درجة حرارة الشحنة بطيئا مما يزيد من تأكسد الحديد .

وبإمالة المحول يصبح عدد فتحات الهواء المستخدمة فعلا أقل من عددها الحقيقى ولا يغطى الحديد الزهر جميع الفتحات الموجودة الامر الذى يؤدى الى تأكسد السليكون ببطء فيزداد الفاقد من الحديد وبالتأكسد ويكون نتيجة لها ارتفاع درجة حرارة الشحنة .

وبعد ذلك يثبت المحول فى وضع رأسى مع استمرار النفخ فيرتفع معدل تأكسد السليكون وفى النهاية يكون الارتفاع فى درجة الحرارة

كنتيجة حتمية لهذا الاجراء أمرا مؤكدا • والارتفاع الحرارى يكون نتيجة  
لنفخ الحديد الزهر الغنى بالسليكون وهو عند درجة عالية من الحرارة •

وفى بعض الاحيان تتم صناعة الصلب بمثل هذه الحالة من الفيض  
الحرارى حيث يستغل فى صهر وتصنيع كمية مناسبة من الخردة •  
وعمليا تطبق مثل هذه الطريقة فى المصانع النى نفتقر الى الافران المفتوحة  
حيث يستفاد بتصنيع الاكوام المكسدة من الخردة •

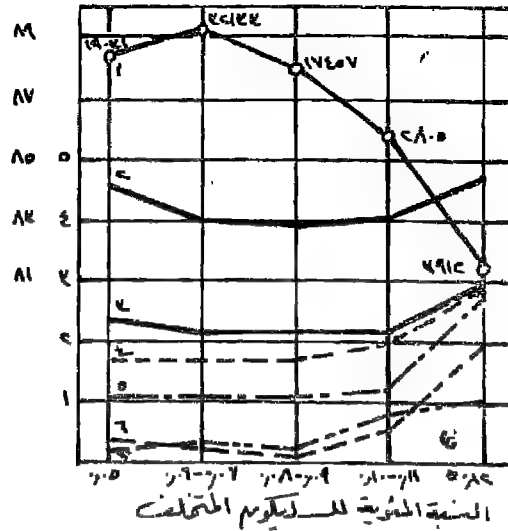
واذا تم النفخ عند زيادة من الحرارة كان الصلب الناتج أقل جودة  
واحتموى على كمية أكبر من السليكون المتخلف وارتفع معدل تأكسده  
ودرجة تشبعه بالغازات ( اذ أن ارتفاع كل من الحرارة والسليكون  
بالحديد الزهر يزيد من فرصة ذوبان الغازات فى الصلب المنصهر ) •

وعند صب الصلب الفوار وهو فى درجة الحرارة العالية فان الكتل  
الناتجة يحدث لها فوران ويزداد حجمها ويتكون ما يشبه خلايا النحل  
التي تنظم قرب سطح المعدن • ولقد أوضحت التجارب أنه اذا احتوى  
الصلب على ٠.٩ ر - ١٪ من السليكون المتخلف فى صلب القضبان  
( عندما يتوقف النفخ عند نسبة الكربون المطلوبة ) تنخفض جودة الصلب  
وقد يرفض لكثرة ما به من عيوب واضحة وتصدعات خطيرة وزيادة فى  
القصفة •

ويمكن تدارك هذا الارتفاع فى درجة الحرارة باضافة كمية من  
الخردة فى المحول وهو فى وضع رأسى قبل أو أثناء عملية النفخ ، وتعتمد  
كمية الخردة المضافة على طريقة التشغيل •

وقد أوضحت التجارب أنه باضافة ١٠٪ من قصاصات الدرفلة  
( نفايات الدرفلة ) تنخفض درجة الحرارة حوالى ١٠٠ - ١٢٠ درجة م •

ومن الأهمية بمكان أن نذكر الدور الكبير الذى يقوم به خام الحديد  
فى تنظيم درجة الحرارة فنظرا لقدرته الكبيرة على التبريد فهو يفوق  
الخردة فى هذا الصدد ولا تعجب أن كيلو جراما واحدا منه يحل محل  
٤ - ٥ كيلو جراما من الخردة • ويجب اضافة خام الحديد فى المحول  
قبل شحنه بالحديد الزهر حتى يختزل الحديد بواسطة السليكون  
والمنجنيز أثناء الفترة الاولى وليس بالكربون •



شكل (١٧) : يبين جودة صلب القضبان المصنوع في محول بـسمر مدبرة بنسبة السليكون المتخلف الذي يحتويه الصلب

- |  |                      |
|--|----------------------|
| ١ - درجة أول                             | ٢ - التصفيات الدقيقة |
| ٣ - مواضع الأكسيد                        | ٤ - الرمل المحجوز    |
| ٥ - العيوب التي لصلب البيان الميكروسكوبى | ٦ - القصفة           |
| ٧ - التسفوق ( الصدوع )                   |                      |

وإذا أضيف خام الحديد أثناء المرحلة الثانية فإن ذلك يؤدي الى اخزال الحديد بواسطة الكربون مكونا أول اكسيد الكربون مما يساعد المقذوفات المعدنية على الهروب خارج المحول حاملة معها بعض الخام المضاف .

ومن مزايا اضافة خام الحديد والنفايات المعدنية الى شحنة الحديد الزهر تقديم كمية لا بأس منها من الاكسجين اللازم للتفاعلات الكيميائية المختلفة فتتم بسهولة وفى وقت أقصر كما أن اخزال خام الحديد يزيد من ناتج الصلب المنصهر .

ومن الطرق المستخدمة لامتنصاص الزائدة اضافة نسبة من بخار الماء الى الهواء الداخلى الى المحول فتستهلك كمية كبيرة من الحرارة فى تحليل الماء الى عتصره وتعتبر هذه الطريقة ذات فاعلية الى حد بعيد الا أنها غير اقتصادية ولهذا فهى بعيدة عن المنطق اذ أن الحرارة الزائدة

فى هذه الحالة تضيق هباء فى حين أنه يمكن استقلالها فى اختزال كمية من خام الحديد أو لصهر كمية من الخرقة .

هذا بالإضافة الى امتصاص جزء كبير من الهيدروجين ( المنشق عن الماء ) المتولد نتيجة لتحلل الماء مما يحط من جودة الصلب . وقد يؤدى الى حدوث تشققات ذات تأثير خطير فى القضبان المصنوعة من هذا الصلب .

### ٥ - الطريقة الحديثة لصناعة الصلب

تتحسن كثيرا خواص الصلب المختلفة اذا نجحنا فى خفض نسبة النتروجين والفوسفور به ويمكننا العمل على الاقلال من النتروجين الذائب بالصلب ( متوسط الكربون ) بطرق مختلفة منها : ايقاف نفخ الهواء عندما نصل الى نسبة الكربون المطلوبة ، واستعمال النفخ الجانبى ، وخفض الضغط الجزئى للنتروجين فى الهواء المنفوخ بتزويده بالأكسجين النقي .

### ايفاف نفخ الهواء عند الوصول الى نسبة الكربون المطلوبة :

يصنع الصلب الكربونى فى محولات بسمر اما بنفخ الحديد الزهرى بالهواء حتى تخبو شعلة اللهب نهائيا ( وفى هذه الحالة تصل نسبة الكربون بالصلب الى حوالى ٠.٥ ٪ ) ثم يتبع ذلك عملية الكربنة أو بوقف تدفق الهواء الى المحول عندما تكون نسبة الكربون بالصلب هى النسبة المنشودة ، والطريقة الأخيرة تسمى بعدم تعرض كثير من الحديد المتأكسد كما أن الصلب الناتج يكون محتويا على كمية من النتروجين أقل من الصلب الذى تعرض لعملية الكربنة . وقد عرفت هذه الطريقة منذ زمن طويل ولكنه لم تنتشر ولم تحظ بالانتشار الواسع الا بعد أن تم اعداد الأجهزة اللازمة والتي جعلت فى الاستطاعة معرفة نسبة الكربون فى الصلب فى فترة وجيزة لا تتجاوز دقيقة ونصف وذلك بواسطة اخذ عينات من المحول اثناء عملية النفخ .

ثم تؤخذ عينة من الصلب لتحديد نسبة الكربون فاذا كانت أكبر من النسبة المطلوبة كان استمرار النفخ أمرا مستلزما .

ويمكن التحكم فى النفخ بواسطة الزمن وظهور اللهب الخارج من المحول حتى يصل نسبة الكربون الى ٠.٦ - ١ ٪ بعد ذلك تؤخذ عينة من

المعدن لتحديد نسبة الكربون وإذا زادت نسبة الكربون عن القيمة الفعلية  
تضاف بعض المصهرات الشديدة .

ويمكن تحديد معدل أكسدة الكربون تحت ظروف النفخ المحددة  
معمليا ويمكن تسجيله في جدول .

ويعطى جدول (٢) المعدلات المطلوبة للنفخ الزائد لصبة تزن ١٨٥  
طن عند نسبة ٠.٥٪ كربون وتغذية هواء بمعدل ٣٥٠ متر مكعب لكل  
دقيقة .

( جدول (٢) )

مدة النفخ الزائد بالدقيقة/والثانية	محتوى الكربون في العينة %
٤٠ - ١	١٢
٢٦ - ١	١١
١١ - ١	١٠
١٧ - ٠	٩
٤٣ - ٠	٨
٢٩ - ٠	٧
١٤ - ٠	٦

وتتراوح نسبة النيتروجين في صلب القضبان الكربوني من ٠.١٦  
الى ٠.٢٢٪ وعندما تتوقف العملية عند نسبة كربون ٠.٥ - ٠.٦٪  
فان كمية النيتروجين تتراوح بين ٠.١٢ - ٠.١٨٪ ويزداد عائد  
الصلب جيد الانصهار الى ١٥ - ٢٠٪ نتيجة انخفاض فاقد صهر  
الحديد ويمكن أن تتحسن الخواص الميكانيكية للقضبان .

### النفخ الجانبي :

ترجع الجودة المنخفضة لصلب بسمر المنفوخ من القاع الى زيادة  
كمية النيتروجين والمكونات غير الحديدية المتواجدة فيه ، وفي حالة  
النفخ الجانبي أو عندما تكون الودنات مغمورة قليلا في المعدن تزداد  
مساحة التلامس المباشر بين الهواء والمعدن بمعدل بطيء مما يساعد على  
احتزال نسبة النيتروجين في الصلب الى ٠.٠٣ - ٠.٠٨٪ بدلا من

٠.١٥ - ٠.٢٢٪ في طريقة النفخ من أسفل ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للصلب لتصبح مشابهة لمثلتها في الافران المفتوحة .

وتنتج الافران الجانبية معدنا ذو درجة حرارة عالية من عملية النفخ من أسفل ويمكن أن يعزى ذلك الى الاحتراف السفلى لأول اكسيد الكربون « ك أ » الى « ك أ ٢ » على السطح عند تصاعده وينتج التسخين الشديد للمعدن زيادة اضافات الخردة والخام عن طريق زيادة العائد من الصلب المنصهر وتساعد الحرارة الفائضة كذلك على نفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة صغيرة من السليكون .

ومن الممكن أيضا صهر سبيكة الصلب لأن الاضافات السبائكية تذاب بسهولة بدون تبرير المعدن الى الحد الذي يصهر بالصب العادي وتتبع الاحتياطات التالية في عملية النفخ الجانبى لمحول بسم ٢٠ طنا المستخدم في صهر الصلب المطاوع وصلب القضبان :

١ - أن تتراوح نسبة النيتروجين في معدن القضبان بين ٠.٠٦ - ٠.٠٩٪ وفي الصلب الفوار من ٠.٠٥ - ٠.٠٨٪ ( مع النفخ من أسفل تكون النسبة حوالى ٠.١٨ - ٠.٢٦٪ ) .

٢ - أن تتراوح نسبة الاكسجين في الصلب المنفوخ من أسفل بين ٠.٢٧٣ - ٠.٤٢٠٪ وفي الصلب المنفوخ من اسفل بين ٠.٢٧٣ - ٠.٤٢٠٪ وفي الصلب المنفوخ بالطريقة الجانبية من ٠.١٨ - ٠.٣٠٦٪ .

٣ - عندما يحتوى الحديد الزهر على ١.٢٧ - ١.٥٦٪ سيلكون ، ٠.٧٩ - ٠.٨٠٪ منجيز ويتم نفخه بالطريقة الجانبية لانتاج صلب طرى فان تركيب الخبث قبل عملية الاكسدة يكون كالاتى % : -

٢١س	٥٥٧٠	مغ أ	٠.٢٥
٣١٢لو	١٩٩٥	م أ	١٤٩٩
١ كا	٠.٤٩	ح أ	٢٧١٧

وفي طريقة النفخ من أسفل :

فان محتوى « ح أ » في الخبث يتراوح بين ١٥ - ١٧٪ وفي طريقة النفخ الجانبى فان الخبث يكون أكثر سيولة .

٤ - في طريقة النفخ الجانبى تتراوح النسبة الكلية للعناصر غير الحديدية في صلب القضبان بين ٠.٣١٢ - ٠.٣٩٪ ( متوسط



١١٨٥٪) ومن ثم يجب أن يؤخذ في الاعتبار ان سيولة الصلب تكون عالية مع النفخ الجانبى عنها فى طريقة النفخ السفلى .

٥ - أن تبلغ متوسط قوة التصادم لمعدن القضبان فى مقطع العينة عند درجة حرارة الغرفة ١٢٨ كجم/سم مربع فى حالة النفخ الجانبى ، ٩٩٠ كجم / سم<sup>٢</sup> فى حالة النفخ السفلى ١٠٠ أما عند درجة حرارة ٦٠٠ - صفر درجة م فتكون تقريبا ٧٢٠ - ١٠٣ كجم / سم<sup>٢</sup> ، ٥٢٠ - ٦٢٠ كم / سم<sup>٢</sup> على التوالي كما نزيد كذلك مقاومة التصادم فى طريقة النفخ الجانبى للصلب الفوار سواء قبل الازمان أو بعده .

٦ - نداد فترة النفخ من ١٣ - ١٥ الى ١٧ - ٢٧ دقيقة .

٧ - عمر بطانة المحولات والودنات قصير .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية يستخدم محولان بسعة من ٦ - ٧ طن لانتاج كمية من الحرارة على سطح المصهور عندما يكون وضع الودنات فى مستوى حمام ( مغطس ) المعدن أو أعلى قليلا وفى هذه الحالة يدخل هواء النفخ تحت منسوب المعدن أى تكون الودنات مغمورة وأيضا عندما تكون الطريقتان مركبتين مع بعضهما وتبلغ نسبة النتروجين فى الطبقة السطحية للنفخ ٠.٠٠٣٪ وداخل طبقة المعدن ٠.٠٠٧٪ ، وفى الطريقة المركبة ٠.٠٠٦٪ .

ويوضح جدول (٣) تركيب الخبث :

جدول (٣)

محتوى المكونات٪				المصهور
أ ٢	ب ٢	ج ٢ ٣	ح ١	
٣١٨	٤٩١٠	٣٤٣	٣٨١٨	السطح
٢٣٤	٥٨٥٠	١٥٠	٢٨٧٣	اسفل طبقة المعدن
٢١٢	٦٧٦١	٢٩١	١٦٢٢	القاع

ومن التركيب الكيميائى للخبث يتضح مباشرة أن الخبث الناتج من طريقة النفخ السطحى هو الذى يتمتع بأكبر درجة من السيولة ولهذا فقد أصبح من العسير فصله عن الصلب .

وقد يطول عمر بطانة المحول إذا كانت مصنوعة من الميكا فلا تتغير .

الا بعد أن تؤدي ٦٦ صبة ويستمر النفخ من ١٠ - ٢/دقيقة حتى يتم صنع صبة وزنها ٢٢ طنا .

وتنحصر مميزات طريقة النفخ الجانبى فيما يلى : -

١ - ارتفاع درجة الحرارة داخل المحول أثناء التشغيل مما يتيح لنا نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السليكون كما يمكننا من اضافة كمية اكبر من الخردة وخام الحديد فتزداد تبعا لذلك الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج .

٢ - تنخفض كثيرا نسبة النتروجين فى الصلب الناتج وقد تصل فى كثير من الاحيان الى النسبة التى يحتويها صلب الافران المفتوحة .

٣ - تقل كمية الشوائب غير المعدنية المحتواة فى الصلب الناتج .

٤ - يضارع الصلب الناتج فى خواصه الميكانيكية صلب الافران المفتوحة .

ولولا ارتفاع درجة أكسدة الخبث وتداعى البطانة بعد أمد قصير لفاقت هذه الطريقة غيرها من الطرق بدون استثناء وارتقت عرش المثالية وأصبحت نموذجا تتضاءل بجانبه جميع الطرق المعروضة .

### تزويد هواء النفخ بالأكسجين النقى :

ينفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين لنتمكن من رفع السعة الانتاجية للمحول ، وخفض نسبة النتروجين بالصلب ولامكانية الاستفادة بكمية اكبر من الخردة عن الطريقة العادية باستعمال الهواء فقط فى النفخ .

ولم تأخذ طريقة النفخ السفلى بالأكسجين النقى طريقها فى الانتشار على الصعيد العالمى نظرا لقصر عمر أداء الحرارية المستعملة فى المحول ، وقد انضحت هذه الظاهرة بما لا يدع مجالا للشك أثناء الاختبارات التجريبية التى أجريت فى الاتحاد السوفييتى وفى غيره من البلدان الصناعية الاخرى .

وبالقاء نظرة فاحصة على الحالة الحرارية لشحنة الحديد الزهر نجد أنه باستعمال الهواء فقط فى النفخ فإن جزءا كبيرا من الحرارة يفقد بواسطة النتروجين الذى يتصاعد من المحول وفى درجة حرارة الشحنة تقريبا . وكما هو معروف لنا يمثل النتروجين  $^{33}$  حجم الهواء الداخلى ولهذا يصل الفاقد من الحرارة أكثر من ٢٥٪ من كمية الحرارة الكلية

وعليه كان لزاما علينا أن يكون الحديد الزهر غنيا بالسليكون حتى  
نتمكن من تعويض الحرارة المفقودة •

ولقد وجد أنه اذا كانت نسبة الاكسجين بهواء النفخ ٣٠٪ أمكن  
صهر ٩ ركبم من الخردة لكل متر مكعب من النتروجين المرفوع من هواء  
النفخ ، فبالنفخ المعتاد تصل كمية الخردة المضافة الى ٨٪ طنا لكل من  
الحديد الزهر المنفوخ •

فاذا احتوى هواء النفخ على ٣٠ - ٣٥٪ منه أكسجيناً زيدت هذه  
الكمية الى ٣٥٪ طنا كما أنه في هذه الحالة نتمكن من نفخ الحديد الزهر  
الذى لا يزيد نسبة ما به من السليكون عن ٠.٥ ٪ •

ويتناسب الانخفاض الزمنى فى فترة النفخ مع نسبة الاكسجين  
الموجودة بالهواء المنفوخ ، وجدول (٤) يعطينا فكرة عن هذا التناسب  
باجراء تجارب لنسب مختلفة من الاكسجين على شحنة من الحديد الزهر  
وزنها ٢٢٥ طنا •

#### جدول (٤)

نسبة الاكسجين فى هواء النفخ (٪)	مدة النفخ - ( دقيقة )
٢١ هواء عادى	١٣ر٢٣
٢٥	١١ر١١
٣٠	٩ر٢٦
٣٥	٧ر٩٣
٤٠	٦ر٩٤
٤٥	٦ر١٩
٥٠	٥ر٥٦

ولقد تحققت النتائج الآتية بالتجارب العملية وأصبحت حقيقة  
لا يدانيها أى شك :

١ - ظلت درجة حرارة الشحنة فى حدود المعتاد باضافة ١٢٪ من  
الخردة •

٢ - ارتفعت السعة الانتاجية للمحول فأصبحت ٤ صبات فى الساعة  
بدلا من ثلاث •

صناعة الصلب - ٦٥

٣ - زادت الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد بمقدار ١٪ .

٤ - تحسنت خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به .

٥ - أصبح من المستطاع نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السلكون .

## ٦ - ازالة الفوسفور من الصلب :

يزال الفوسفور من صلب بسمر باضافة خليط من أكسيد الكالسيوم ( ٥٠ جزء ) ونفايات التشكيل ( ٣٠ جزء ) والفلوريت ( ٢٠ جزء ) .  
ويضاف هذا الخليط بعد طحنه وهو فى الحالة اثناء صب المعدن فى المحول بواقع ٣٠ كجم لكل طن من الصلب الناتج .  
ويكون من جراء هذا حدوث تفاعلات سديدة فى البودقة التى تحوى الصلب الناتج ونتيجة لهذه التفاعلات تصل نسبة الفوسفور المزال الى ٥٠ - ٨٠٪ من الكمية الكلية بالصلب .

ويزن الخبت الناتج ٣٪ من وزن المعدن . ومن الضرورى أن تكون سعة البودقة كافية حتى نتلافى فيضان الخبت خارج البودقة نتيجة لعنف التفاعلات التى تحدث داخلها ويعطى التحليل الكمي للتركيب الكيميائى للخبت النسب الآتية :

٤٥ كا	٣١٢ لو
١٤ - ١٠ ح + ح ٣١٢	١٠ - ٨ م أ
٢٥ - ١٥ س ٢١	٦ - ٤ فو ٥١٢

ويمكننا أيضا معالجة خبت محولات بسمر بخبت الحديد الجبرى وهو فى الحالة السائلة .

وبالرغم من النتائج الطيبة التى توصلنا اليها بهذه الطريقة الا انها لم تعمم وتستخدم على الصعيد الدولى نظرا لانها تتطلب وحدة مستقلة لصهر الخبت كما أن الدورة الانتاجية لهذه الطريقة معقدة الى حد بعيد .

## ٧ - نزع الأكسجين من الصلب

### كربنة الصلب

يتم عمليا نزع الأكسجين والكربنة قبل عملية النفخ مباشرة والغرض من هاتين العمليتين كما هو واضح من تسميتهما سحب ما يمكن سحبه

من الأكسجين الذائب بالصلب ثم رفع نسبة الكربون بالصلب حتى تصل إلى النسبة المطلوبة .

وفي صناعة الصلب الفوار ، يتم عادة نزع الأكسجين ورفع نسبة الكربون بإضافة سبيكة الفيرومنجنيز إلى المحول أو البودقة .

ويجب أن يكون الفيرومنجنيز المضاف ذا أحجام مناسبة ومندى بقليل من الماء حتى يتمكن من اختراق طبقة الحُبث الكثيفة دون أن يحتجز بها . وقد وجد أن أنسب الأحجام للفيرومنجنيز المضاف هو ٥٠ مم كقطر لمساحة المقطع وتضاف أثناء صب الصلب في البودقة .

ويمكن تعيين وزن الفيرومنجنيز الذي يجب إضافته من قانون العلاقة الآتية :

$$\text{وزن الفيرومنجنيز المضاف} = \frac{\text{س} \times \text{ص} \times ١٠٠}{\text{أ} (١٠٠ - \text{ب})}$$

حيث : س = وزن الشحنة بالطن ( مثلا ٢٠ طنا )

ص = نسبة المنجنيز المراد الوصول إليها % ( مثلا : نسبة المنجنيز بالصلب = ٠.٩%

النسبة المطلوبة = ٤% ، ص = ٤ - ٠.٩ = ٣.١%

أ = نسبة المنجنيز في السبيكة % ( مثلا ٧٥% )

ب = نسبة ما يفقد من المنجنيز ( عادة ٣٠ - ٤٠% ) عند إضافته في المحول ١٥ - ٢٠% عند إضافته في البودقة .

وكمثال يكون وزن الفيرومنجنيز الواجب إضافته تبعا للبيانات المعطاة .

$$\text{وزن} = \frac{١٠٠ \times ٣.١ \times ٢٠}{(٧٥ - ١٠٠) \times ٣.١} = ١٣ \text{ رطل}$$

وهذه الكمية من الفيرومنجنيز ترفع نسبة الكربون في الصلب الناتج بمقدار

$$\text{ب} = \frac{١٠٠ \times ٦.٥ \times ١٣ \times ٠.١}{٢.٠} = ٠.٤\%$$

حيث أن هذه السبيكة تحتوي على ٦٥٪ من وزنها كربونا مع افتراض عدم فقد أى كربون منها .

وإذا كانت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ مباشرة ٠٥٪ فإن النسبة النهائية تصبح مساوية ٠٩٪ وللمنجنيز الموجود فى صلب بسمر الفوار تأثير ملحوظ على خواص كتل الصلب أثناء درفلتها .

وبزيادة نسبة المنجنيز فى الصلب نحد من شدة فورانه فى قوالب الصلب وبهذا تصبح الكتل رفيقة للغاية .

أما إذا انخفضت نسبة المنجنيز بالصلب أصبح ضروريا اضافة قطع الالومنيوم ليقوم بنفس الدور الذى يقوم به المنجنيز .

ومن الأهمية بمكان أن تؤخذ كل هذه الاعتبارات فى الحسبان حتى يتم صنع الصلب بنجاح . وتعرضنا كثير من العقبات مع صنع صلب بسمر المخمد فى نهاية النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٠١٪ فإن كمية كبيرة من الأكسجين تبلغ ٠٦ - ٠٩٪ تكون ذائبة فى الصلب وأحيانا لا يكون الصلب الناتج مخمدا تماما بالرغم من اضافة كميات وفيرة من الفبروسليكون والالومنيوم وفى هذه الحالة يمكننا نزع الأكسجين بنجاح بواسطة الكربون حيث نزداد قابليته للأكسجين عند درجات الحرارة العالية . فباياف نفخ الهواء فور شحوب شعلة اللهب عند فوهة المحول ( ٠٥٪ كربونا ) تضاف كمية من الحديد الزهر الى المحول ويحتوى ( الحديد الزهر على ٢٥٪ كربونا ، ١٥٪ سليكونا وعندئذ يشتد التفاعل حتى اذا انتهت هذه التفاعلات يكون الصلب جاهزا لصبه فى البودقة حيث نضاف اليه الكميات المطلوبة من سبائك الفيرومنجنيز والفبرسليكون والالومنيوم ولهذا يحتوى الصلب المخمد تماما على حوالى ١٥٪ كربونا ، ١٥٪ أكسجين .

وقد تستخدم سبيكة السليكومنجنيز لنزع الأكسجين من بعض أنواع الصلب الخاصة .

وفى صناعة الصلب الكربونى أو صلب القضبان تستخدم عادة العوامل النازعة للأكسجين والكربنة بعد صهرها فى أفران الدست ، أو الأفران الكهربائية .

وعادة يكون التركيب الكيميائى للعوامل النازعة للأكسجين كما يأتى :

كربونا	٣٥ - ٤٨٪
نيتروجينا	٩٣ - ١٠٥٪
سليكونا	٢٤ - ٧١٪
فوسفورا	١٦٪

واذا استخدمت هذه العوامل بمقدار يتراوح بين ٩٣ - ٨٦٥٪ كجم/طن من المعدن المنفوخ لانتاج صلب القضبان كانت نسبة ما يحتويه في النهاية من السليكون ٠٩-١٤٪ وفي هذه الحالة يضاف الفيروسليكون الى البودقة حتى ترتفع هذه النسبة الى ١٨-٢٥٪ وفي بعض الأحيان يكون الحديد الزهر المرأوى هو المادة المستخدمة لنزع الاكسجين وأيضا العامل المكون لانتاج صلب القضبان \* ويمكن الاستغناء عن عملية الكربنة لانتاج صلب القضبان ويتأتى هذا بإيقاف النفخ عند نسبة عالية من الكربون وبإضافة الفيرومنجيز منصهرا الى جانب الكربون الموجود فعلا بالصلب تتم عملية نزع الاكسجين بسهولة وتستخدم وحدة خاصة لصهر الفيرومنجيز الذى يؤخذ فى بودقة صغيرة لاضافته الى الصلب الناتج أثناء تفريره فى المحول كما يلقي أيضا الفيروسليكون والالومونيوم فى البودقة فى نفس الوقت .

ولصلب القضبان المصنوع فى محولات بسمر حساسية كبيرة للالومونيوم فبإضافته تنخفض السيولة ويصبح غليظ القوام .

ومن الأهمية بمكان أن يراعى بكل دقة عدم تجاوز كمية الالومونيوم المضافة عن ١٠٠ - ٢٥٠ جرام لكل طن من الصلب الناتج اذ أن تعدي هذه النسبة يصيب صلب القضبان فى بنيانه الماكروسكوبى بعيوب عديدة تحط من جودته وتفقده قيمته .

وقد يستخدم كماد مكرينة كل من : الكربون الناعم والانثراسيت وغيرها من المواد الكربونية الأخرى .

وينحصر استخدامها عادة فى رفع نسبة الكربون ٠٥-١٪ وتضاف ناعمة - بعد نخلها ووضعها فى أكياس من الورق - الى الصلب فى البودقة بعد تفريره فى المحول .

### خواص واستعمالات صلب بسمر

بتميز صلب بسمر بارتفاع مقاومة النهاية للكسر ونقطة استسلامه اذا قورن بصلب الأفران المفتوحة . وكلما انخفضت نسبة الكربون كلما

تباينت خواصه الميكانيكية تباينا كبيرا وتصل نسبة  $\frac{6a}{6l}$  لصلب بسمر الى ٠٦٨-٠٧٤ ، وهي اكبر من مثيلتها لصلب الافران المفتوحة التي تساوي ٠٦٤ - ٠٦٧ . ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة لكل من الأكسجين والنيتروجين والفوسفور .

ولكن لا يخلو صلب بسمر من بعض العيوب ، فقصفانه عالية خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة .

وبسهولة كبيرة يمكن لحام صلب بسمر بواسطة الطرق بينما توجد صعوبة بالغة عند لحامه بواسطة الكهرباء مما يحد من مجال استعماله في شتى النواحي العملية ولما كان صلب بسمر يحتوى على الفوسفور والنيتروجين بنسب عالية نوعا ، لذلك فانه يستحيل استخدامه اذا كانت خاصية اللدونة مطلوبة عند معالجته على البارد بواسطة الضغط كما في حالات التشكيل بواسطة السحب ، الدرفلة على البارد ، ويستخدم صلب بسمر عمليا في صناعة القطاعات الجانبية في الانشاءات غير الحساسة . كالمسامير والقضبان المدرفلة التي لايجرى عليها بعد ذلك عمليات تشكيل لاحقة كالسحب الى أسلاك ، الأنابيب الملحومة ، الفولاذ سريع القطع .

## ٨ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر

### ١ - الموازنة المادية

في حساباتنا الآتية نعتبر ١٠٠ كجم كوحدة أساسية لشحنة محول بسمر والمجدول الآتي يبين البيانات الخاصة بشحنة بسمر .

جدول (٥)

نسبة المواد المحتواة %					
ك	س	م	فو	كب	
٤١	١٢	٩٢	٠٦٥	٠٤	الحديد انزهر
٠٦	-	١	٠٦٥	٠٤	المعادن المنفوخ
٤٠٤	١٢	٨٢	-	-	كمية المواد المؤكسدة



١ - افترض ان ٢٠٪ فقط من الكربون الكلي يتأكسد الى ثاني أكسيد الكربون ، ٨٠٪ يتأكسد الى أول أكسيد الكربون .

٢ - ١٢٥٪ من وزن المعدن - يستهلك من بطاقة المحول ( ديناس ) وينذهب الى الحثب .

٣ - تركيب البطانة كما يأتي : =

س ا ٢ ٩٦٪

لو ٢ ٣١ ١٥٪

كا ١ ٢٥٪

٤ - جميع م ا الناتج يتحد مع س ا ٢ والباقي من س ا ٢ يتحد مع ح ا مكوّن ( ح ا . س ا ٢ ) ، وتهمل كمية س ا ٢ التي تتحد مع ك ا الناتج من البطانة .

$$\text{وزن البطانة الذي يذهب الى الحثب} = \frac{125}{100} \times 100 = 125 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن س ا ٢ الذي يذهب الى الحثب} = 125 \times 96 = 120 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن م ا الذي يذهب الى الحثب} = 125 \times 15 = 18.75$$

$$\text{وزن ك ا الذي يذهب الى الحثب} = 125 \times 25 = 31.25$$

$$\text{وزن م الذي تأكسد} = \frac{82}{100} \times 100 = 82$$

$$\text{وزن م ا المتكون} = \frac{82 \times 71}{55} = 106$$

هذه الكمية من م ا تتحد مع كمية مناظرة من س ا ٢ يمكن حسابها كما يلي :

$$\text{وزن س ا ٢ الذي يتحد مع م ا} = \frac{60 \times 106}{71} = 90 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن س الذي تأكسد} = 100 \times \frac{12}{100} = 12$$

$$\text{وزن س ا ٢ المتكون} = \frac{60 \times 12}{28} = 25.7$$

هذه الكمية من س ٢١ سوف تتحد مع كمية مناظرة لها من ح أ ، م  
وسبق أن حسبنا كمية س ٢١ التي تتحد مع م وكانت ٩٠ كجم

وزن س ٢١ التي تتحد مع ح أ = ٢٥٨ - ٩٠ = ١٦٨ كجم

وزن ح أ الذي يتحد مع ١٦٨ كجم س ٢١

$$= \frac{60}{72} \times 168 = 140 \text{ كجم}$$

وهذه الكمية من ح أ نحصل عليها بتأكسد وزن من الحديد

$$= \frac{56 \times 140}{72} = 107 \text{ كجم}$$

\*\*\*

حساب الاكسجين اللازم لأكسدة الحديد والشوائب

الحديد الزهر

١ - وزن الكربون الذي تاكسد الى ك ٢١

$$= 40.4 \times 2 = 81 \text{ كجم}$$

٢ - وزن الكربون الذي تاكسد الى ك ٢

$$= 40.4 \times 8 = 323 \text{ كجم}$$

وزن الاكسجين اللازم لتاني أكسيد الكربون

$$= \frac{32}{12} \times 81 = 216 \text{ كجم}$$

وزن الاكسجين اللازم لأول أكسيد الكربون :

$$= \frac{16}{12} \times 323 = 431 \text{ كجم}$$

وبالمثل نحصل على أوزان الاكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب

الأخرى ، ويمكن تنظيم هذه العملية في جدول كالاتي :

جدول (٦)

وزن العناصر التي تأكسدت كجم	الأكسيد الناتج	وزن الأكسجين اللازم / كجم	وزن الأكاسيد الناتجة / كجم
ك ٨١	ك٢	$\frac{32}{12} \times 81 = 216$	٢٩٧
ك ٣٢٣	ك٢	$\frac{16}{92} \times 323 = 431$	٧٥٤
س ١٢	س٢	$\frac{32}{28} \times 12 = 38$	٢٥٨
م ٨٢	م٢	$\frac{16}{55} \times 82 = 24$	١٠٦
ح ١٥٧	ح٢	$\frac{16}{56} \times 157 = 45$	٢٠٢

مواد مفقودة أثناء الانصهار  
٧٦٣  
٨٥٤

وزن وتركيب الخبث :

س ٢٢	٢٥٨ + ٣٧٨ كجم	٥٤٧٥ %
ح٢	٢٠٢	٢٩٢ %
م٢	١٠٦	١٥٣ %
لو ٢	١٩	٣ %
كا٢	٣١	٤٥ %
	٦٩١ كجم	١٠٠ %

### ٣ - حساب كمية الهواء اللازم

الجدول الآتى يبين تكوين الهواء :

جدول (٧) :

العناصر	النسبة حجما	النسبة وزنا	النسبة الوزنية مع الأخذ فى الاعتبار تحلل المياه
أ	٢٠٧٩	٢٣٠٧	٢٣٦٢
ن	٧٨٢١	٧٦٣١	٧٦٣١
ماء أ	١	٠٢	-
ماء ب	-	-	٠٦

وزن المتر المكعب من الهواء = ١٢٩ كجم

وزن الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$٣٦١٥ \text{ كجم} = \frac{٨٥٤ \times ١٠٠}{٢٣٦٢} =$$

، حجم الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$٣٨٢٨ = \frac{٣٦١٥}{١٢٩} =$$

إذا الكمية المطلوبة من الهواء نظريا لنفخ ١ طن من الحديد الزهر

$$٣٨٢٨٠ =$$

، ٣٦١٥ كجم من الهواء تحتوى على : ٨٥٤ كجم من الاكسجين

٢٧٥٩ كجم من ن ٢ ٠٢ كجم من يد

ويكون تركيب الغازات الخارجة من المحول كما يلى :

$$\begin{aligned}
 \text{أ} \cdot \text{النتيجة} &= 2297 \times \frac{224}{44} = 1153 \text{ م}^3 \quad 12.5\% \\
 \text{ب} \cdot \text{النتيجة} &= 754 \times \frac{224}{28} = 601 \text{ م}^3 \quad 2.2\% \\
 \text{ج} \cdot \text{النتيجة} &= 2759 \times \frac{224}{28} = 2207 \text{ م}^3 \quad 73.94\% \\
 \text{د} \cdot \text{النتيجة} &= 0.2 \times \frac{224}{2} = 22 \text{ م}^3 \quad 0.74\%
 \end{aligned}$$


---

الوزن الكلى 3812 كجم  $32983 \text{ م}^3$   $100\%$

ويمكن تنظيم الموازنة المادية فى جدول كالآتى  
جدول ( ٨ )

النتائج	المعطى	
١٠٠ - ٧٦٣ = ٩٢٣٧	صلب	الحديد الزهر
٣٨١٢	غازات	هواء
٦٩١	خبث	بطانة
١٣٧٤٠		المجموع الكلى

وفى المحول يتراوح الفاقد من الصلب من ١ : ١٥٪ نتيجة لعدم سيولة الخبث لدرجة تكفى لفصل الصلب تماما .

## ٢ - الموازنة الحرارية

يعتمد حساب الموازنة الحرارية لشحنة المحولات على الأساس التالى :  
الطاقة الحرارية الداخلة + الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات =  
الطاقة الحرارية الخارجة .

اذ أنه لا يمكن للطاقة أن تفنى أو أن تخلق من عدم ، ويمكن ادماج الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات مع الطاقة الحرارية الداخلة تحت الحرارة الداخلة بالمحول .

إذا / الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

### والحرارة الداخلة تشمل البنود الآتية :

- ١ - كمية الحرارة التي يحتويها الحديد الزهر .
- ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الهواء الداخل اذا كان ساخنا .
- ٣ - كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب .
- ٤ - كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث .

### والحرارة الخارجة تشمل البنود الآتية : =

- ١ - كمية الحرارة التي يحتويها الصلب .
- ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الخبث .
- ٣ - كمية الحرارة التي يحتويها الغازات .
- ٤ - كمية الحرارة التي يحتويها الاشعاع .

### حساب الحرارة الداخلة : =

$$= ١ - \text{كمية الحرارة التي يحتويها الحديد الزهر} \\ = ١٠٠ [ ١٧٨ \times ١١٥٠ + ٥٢ + ٢٥ ] - ١٢٥٠ - ١١٥٠ \\ = ٢٨١٧٠ \text{ سعرا}$$

### حيث :

١١٥٠ : درجة انصهار الحديد

١٧٨ : السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار

سعر/كجم ٥٠ م

٥٢ : الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الحديد سعر/كجم

١٢٥٠ : درجة حرارة الحديد الزهر عند دخوله المحول م

٢٥ : السعة الحرارية للحديد الزهر سعر/كجم ٥٠ م

### ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الهواء الداخل

$$= ٣٦١٥ \times ٢٣٣ \times ٥٠ = ٤٢٠ \text{ سعرا}$$

حيث :

٥٠ هي درجة حرارة الهواء الداخل بالمحول م

٢٣٣ = السعة الحرارية للهواء عند ٥٠ م

٣ - كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب : =

( أ ) من انكربون :

$$= ٨١٣٧ \times ٨١ + ٢٤٥٢ \times ٣٠٢٣ = ١٤٥١١ \text{ سعرا}$$

( ب ) من السليكون :

$$= ٧٠١٥ \times ١٢ = ٨٤٢٠ \text{ سعرا}$$

( ج ) من المنجنيز :

$$= ١٧٥٨ \times ٨٢ = ١٤٤٢ \text{ »}$$

( د ) من الحديد :

$$= ١١٩١ \times ١٥٧ = ١٨٧٠ \text{ »}$$

حيث : -

٨١٣٧ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٢٤٥٢ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٧٠١٥ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق السليكون سعرا

١٧٥٨ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق المنجنيز سعرا

١١٩١ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الحديد سعرا

٤ - كمية الحرارة المتولدة من تكوين الحث :

( أ ) تكوين م أ . س أ ٢ ١٤٠ سعر / كجم

( ب ) تكوين ح أ . س أ ٢ ١٠٥ سعر / كجم

إذا / كمية الحرارة من أ = ٨٢ × ١٤٠ = ١١٢ سعرا

كمية الحرارة من ب = ١٥٧ × ١٠٥ = ١٦٥ سعرا

الحرارة الخارجة :

درجة حرارة الصلب والجلخ = ١٦٥٠ م°

درجة حرارة الغازات الخارجة = ١٥٠٠ م°

١ - كمية الحرارة الخارجة مع الصلب

$$= ٩٢٣٧ [ ١٦٧ \times ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ ( ١٦٥٠ - ١٥٠٠ ) ]$$

$$= ٣١٩١٤ \text{ سعر}$$

حيث :

$$١٥٠٠ م^{\circ} = \text{انصهار الصلب}$$

$$٠.١٦٧ = \text{السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٦٥ = \text{الحرارة الكامنة لانصهار الصلب} \quad \text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٢ = \text{السعة الحرارية للصلب المنصهر} \quad \text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

٢ - كمية الحرارة الخارجة مع الجليخ : -

$$٦٩١ ( ٢٦٤ \times ١٦٥٠ + ٥٠ ) \times ٣٣٥٥ \text{ سعرا}$$

حيث :

$$٢٦٤ = \text{السعر الحرارية للجليخ قبل نقطة الانصهار}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٥٠ = \text{الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الجليخ}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

٣ - كمية الحرارة الخارجة مع الغازات : -

$$\text{كأ } ٢١٥٣ \times ٠.٥٣٤ \times ١٥٠٠٠ = ١٢٢٥ \text{ سعرا}$$

$$\text{كأ } ٦٠.١ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ٢٩٦٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢٢٠.٧ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ١٠٩١٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{يد } ١٢ \times ١٢ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ١٠.٨ \text{ سعرا}$$

حيث أن :

$$٥٣٤ \text{ السعة الحرارية للغاز ك } ٢ \text{ أ}$$

$$٣٢٩ \text{ السعر الحرارية للغاز ك } ٢ \text{ أ ، ن } ٢ \text{ ، يد عند } ١٥٠٠ م^{\circ}$$

ويمكن وضع الموازنة الحرارية في جدول كالآتي :



## جدول الموازنة الحرارية

جدول ( ٩ )

النسبة %	سعر	الحرارة الداخلة
٥١ر١	٢٨١٧٠	الحرارة المحتواة في الحديد الزهر
٧٦ر	٤٢٠	الحرارة المحتواة في الهواء الداخل
		الحرارة المتولدة من الأكسدة :
٢٦ر٣١	١٤٥١١	١ - الكربون
١٥ر٣٠	٨٤٢٠	٢ - السليكون
٢ر٦٢	١٤٤٢	٣ - المنجنيز
٣ر٤٠	١٨٧٠	٤ - الحديد
٥١ر	٢٢٨٠ تقريبا	الحرارة المتولدة من تكون الخبث
١٠٠٪	٥٥١١٣	المجموع الكلي
النسبة ١٠٠٪	سعر	الحرارة الخارجة
٥٨	٣١٩١٤	الحرارة المحتواة في الصلب
٦ر١	٣٣٥٥	الحرارة المحتواة في الخبث
٢٧ر٥	١٥٢٠٣	الحرارة المحتواة في الغازات الخارجة
		الحرارة المفقودة بواسطة الاشعاع ،
٥	٢٧٥٦	تحليل الرطوبة الى عناصرها
٣ر٤	١٨٨٥	الحرارة المستهلكة لانصهار الخرقة
١٠٠٪	٥٥١١٣	المجموع الكلي

والحرارة المفقودة بالطرق المختلفة يمكن اعتبارها ٥٪ تبعا للبيانات العملية .



## الفصل الخامس

### انتاج الصلب فى محولات توماس ( طريقة بسمر القاعدية )

#### ١ - القواعد الأساسية لانتاج صلب توماس

تستخدم محولات توماس ذات البطانة القاعدية لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ١٦-٢٪ وتصنع هذه البطانة القاعدية من طوب الدولوميت المقطرون .

ويشحن المحول أولا بالكمية اللازمة من الجير ( أكسيد الكالسيوم ) كما ، وبعد أكسدة الكربون يبدأ الحديد فى التأكسد ، ويستمر فى تأكسده حتى ينجم فى الخبب كمية كبيرة من أكاسيد الحديد ويبدأ الجير فى الذوبان فى محلول الحث وأكاسيد الحديد ، وعندئذ يبدأ الفوسفور فى التأكسد بشدة مكونا خامس أكسيد الفوسفور الذى يدخل فى الحث فور تكونه .

ومن هذا يتضح أن انتاج الصلب بالطريقة القاعدية (طريقة توماس) يتم باسنعمال الهواء فقط فى النفخ ، وبسنمر دفع الهواء فى المحول حتى نسبة منخفضة من الكربون ( ٠.٤ - ٠.٥ ٪ ) ولهذا تجرى عملية الكربنة بعد انتهاء النفخ للحصول على الصلب الكربونى .

ومن الناحية الحرارية فانه يمكن القول بأن كمية الحرارة المتولدة من أكسدة الفوسفور تكون كافية لرفع درجة حرارة الصلب الناتج الى الدرجة المطلوبة للصلب .

وتحت ظروف خاصة قد ترتفع درجة الحرارة كثيرا عن معدلها المعتاد ويكون مناسبا فى هذه الحالة اضافة كمية من الحردة حتى تعود الحرارة الى المعدل المطلوب .

ومن هذا يمكننا القول ان الفوسفور يقوم بنفس الدور الذى يقوم به السليكون فى محول بسمر تماما .

ويحتوى خبث نوماس على نسبة عالية من حامس أكسيد الفوسفور ولهذا فانه بإجراء بعض العمليات الخاصة عليه يصبح صالحا للاستعمال كسماد فى الأراضى الزراعية فيقوى تربتها ويريد خصوبتها .

وما ان عرفت طريقة نوماس حتى أخذت طريقها فى الانتشار فشملت معظم بلدان غرب أوربا حيث تمتلك هذه البلدان احتياطا ضخما من خامات الحديد الغنية بالفوسفور ، ولهذا فلا غرو فى أن نحظى طريقة نوماس بالمقام الأول فى صناعة الصلب بهذه البلدان .

وقد قام الاتحاد السوفينى بمجهود لا بأس به فى تطوير طرق انتاج الصلب فى محولات نوماس حتى يمكن الانتفاع بها فى استغلال خام اللمونيت الذى يحتوى على ٤٣ / حديدا ، وحوالى ١٨ / فوسفورا ، ويوجد خام اللمونيت هذا فى رسوبيات عديدة بمنطقتى كوستانيا وكازاخستان حيث تستخدم هذه الخامات فى انتاج حديد زهر يحتوى على ١٨-١٢ / فوسفور .

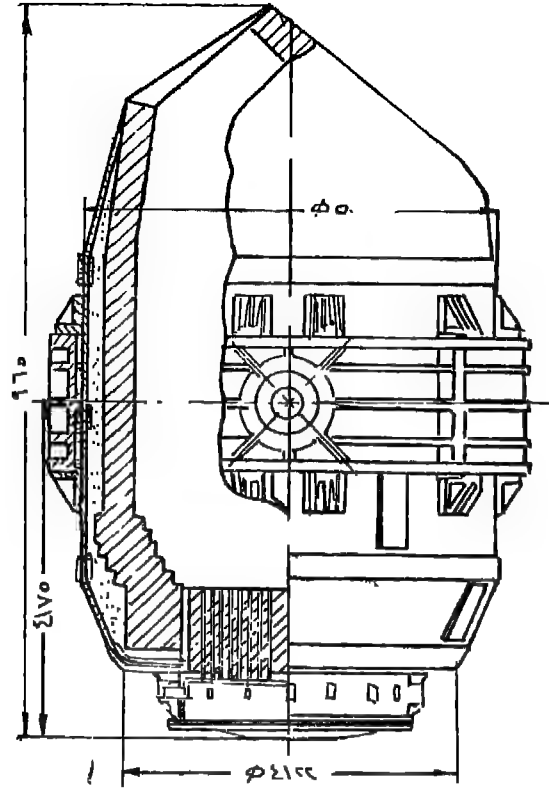
## ٢ - تصميم وتشغيل محولات نوماس

يعتبر تصميم البطانة فى محول نوماس وكذلك الأبعاد الهندسية لبعض أجزائه هو نقطة الاختلاف الوحيدة بين محول نوماس وبسمر .  
وبرى فى شكل (١٨) رسما تفصيليا لأحد محولات نوماس ذى سعة ٤٠ - ٤٥ طنا .

### البطانة :

فى العادة يستخدم طوب الدولوميت المقطرن لتبطين محول نوماس ويندر استعمال الدك فى تبطينه ( سواء كان الدك كليا أم جزئيا ) ، ويصنع طوب الدولوميت المقطرن ، يستخدم خليط من الدولوميت المحروق حديثا ذى تصنيف حجمى خاص وبقايا الدولوميت المستهلك فى مرات سابقة ( بنسبة ١ : ١ ) بالإضافة الى كمية من القار ، سبق أن انتزع منه ما يحتوى من الماء بالإضافة الى نسبة من القار اللامائي المسخن الى درجة ٥٠ - ٧٠ م .

ويجرى خلط هذه المواد ببعضها فى طواحين دوارة ويتم تشكيل هذا الخليط حسب الأشكال المطلوبة بوضعه فى قوالب ذات أشكال مختلفة ثم يتعرض لضغط شديد وتقضى المواصفات الخاصة بصناعة هذا الطوب أن



شكل (١٨) : معول توماس يسع ٤٠ - ٤٥ طنا .

يحتوى الدواوميت على أقل نسبة من السليكا ( ١٥-٢٠ ٪ ) كما يجب أن لا تتعدى نسبة الألومينا + أكسيد الحديد ( ٢٥-٣٠ ٪ ) .

وأثناء التحميص ( الكلسنة ) لا تتعدى نسبة ما يفقد من الدولوميت ١٪ بأى حال من الأحوال ويستغل المستهلك فى عمل طبقة حشو تملأ الفراغ ما بين هيكل المحول وجدار الطوب الدولوميسى المعرض للمعدن . هذا بعد اضافة القار اليه حتى يتماسك .

وبدئى أن تتعرض الأجزاء السفلى من البطانة للتآكل بشدة عن الأجزاء العليا منها الأمر الذى أوجب أن نزيد البطانة سمكا كلما اقتربت من قاعدة المحول ( كما فى جدول ١٠ ) .

وقبل أن يصبح المحول جاهزا للاستعمال تسخن البطانة بواسطة فحم الكوك أو الغاز ويجب أن يكون التسخين شديدا حتى لا يتسرب القار

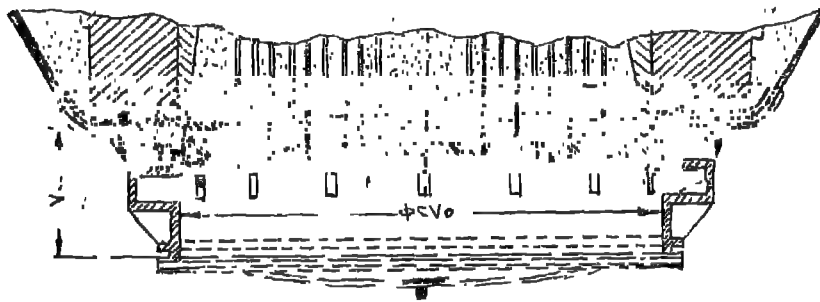
خارج الطوب اذ يتعرض الفار للنسجى الشديد فبتعجم ويقوم بدور المادة اللاصقة لحبيبات الدولوميت .

وتتأثر البطانة تأثيراً كبيراً بالفاعلات الكيميائية والظروف الميكانيكية التى تحدث بين المعدن والحبت وفى المتوسط لا تتغير البطانة الا بعد عمل ٣٠٠ صبة وكحد أقصى ٤٠٠ صبة .

### قاعدة المحول :

كقاعدة عامة - تتميز فواعد محولات توماس عن ذلك المستخدمة فى محولات بسمر باحتوائها على أنابيب ابرية ( كما فى شكل ١٩ ) .

ويتم صنع هذه القواعد بدك خلط من الدولوميت المقطرن ويتوقف عمر هذه القواعد وقوة تحملها أساساً على نوع كل من الدولوميت المستخدم والفار وايضا على ظروف حرقها .



شكل (١٩) : قاعدة ابرية لمحول توماس يسع ٢٠ طنا .

ولا يقل عامل التجانس الحجمى لحبيبات الدواوميت أهمية عن العوامل السابقة وقد وجد أن أنسب الأحجام ٢ - ٤ مم ، ولنسبة السيلكا التى يحتويها الدولوميت تأثير مماثل ويجب أن لا تزيد هذه النسبة على ١٥٪ كما أن حرق القواعد بطريقة سليمة وصحيحة عامل كبير فى تحديد عمر هذه القواعد ( يجب أن لا تتعدى نسبة الفاقد أثناء الحرق ١٪ ) .

السعة بالطن	١٥-١٤ ٢٥ ٣٠	
القطر الخارجي مم	٣٠٥٠ ٣٧٠٠ ٤٢٠٠	
سمك البطانة	الجزء الأسفل	٤٥٠ ٥٠٠ ٦٠٠
	الجزء العلوي	٤٠٠ ٤٥٠ ٥٠٠
سمك الطبقة العازلة مم	١ ١ ١٥٠ السمك	
ارتفاع القاعدة وهي جديدة مم	٨٨٠ ٨٠٠ ٧٦١ ٧٩٦ ٧٧٥٠	
الارتفاع الكللي مم	٨٠٥ ٦٢١ ٧٩٦ ٧٧٥٠	
زاوية ميل فوهة المحول - ٥	١١ ١٥ ٥٣ ٥٣	
قطر فوهة المحول	٨٠ ١٠٠ ١١٨ ١٣٠	

ويجب نزع الماء من القار نزعا تاما ( فيجب أن تكون نسبة الرطوبة به اقل من ٠.٥ / ) .

ونمر قواعد المحول بالمراحل التالية حتى يصبح جاهزة للاستعمال :  
فيوضع اطار معدني له نفس الشكل المطلوب للقاع على لوح من الحديد  
المصبوب سمكه ٥٠ مم ، ولسهولة الفك والتركيب يتكون هذا الاطار من  
جزئين أو أكثر . وننحصر أهمية الاطار في تشكيل القاعدة وتحميمها  
( حرقها ) وبعد ان يتم حرق القاعدة ينزع الاطار .

وعلى طبقات منفصلة يدك خليط الدواوميت دكا جيدا بواسطة  
ماكينات الدك الرجاجة والهزاة ويتم الكبس على طبقات منفصلة يبلغ  
سمك كل منهما ٢٠٠ - ٣٠٠ مم وفي نفس الوقت تنقب هذه الطبقات  
بواسطة أسياخ فولاذية لعمل فتحات الهواء ( الودنات ) في القاعدة .

واستنادا الى طول قطر القاعدة يكون ترتيب هذه الفتحات (الفونيات)  
موزعة بانتظام على ٥ - ٩ دوائر متمركزة .

ويتراوح قطر هذه الفتحات بين ١٣ - ٦١ مم ، وعلى مدى كبير  
تغير المساحة الكلية لهذه الفتحات لكل طن من الشحنة فهي تتراوح بين  
١٣ - ٢٦ سم ٢ تبعا لسعة المحول وعادة تقع بين ١٥ - ١٧ سم ٢ .

أما ارتفاع القاعدة عندما تكون جديدة فنتراوح بين ٧٠٠ - ١١٠٠ مم.  
وبحرق القواعد في أفران خاصة لمدة ٩٦ - ١٢٠ ساعة . حيث ترتفع  
درجة الحرارة سريعا الى ٥٠٠ - ٦٠٠ م حتى يتسرب القار الى خارج  
الخليط .

وأثناء فترة التحميم تنفصل المواد الطيارة الموجودة بالقار حيث  
يتفجر القار فيعمل على تماسك جيبات الدولوميت ويزيد من متانته .  
وأثناء الاستعمال تتآكل القواعد بشدة عند فتحات الهواء . وبالإضافة  
الى نوع المواد المستخدمة في صناعة القواعد يتأثر الى حد بعيد عمر القاعدة  
بعوامل التشغيل المختلفة ، وظروف النفخ ، فمثلا ينخفض استهلاك القاعدة  
إذا قلت مدة النفخ وكان اندفاع الهواء خارجا من الفتحات سريعا بينما  
يقل عمر القاعدة إذا حوت عددا كبيرا من الفتحات وطل الضغط المسعمل  
بأبنا أو بمعنى آخر انخفضت سرعة الهواء الخارج من الفتحات .

وعليه فانه إذا زيد ضغط الهواء ، من ١.٥ الى ٢ - ٢.٥ ضغطا  
جويا ( مقيسا بمقياس الضغط ) مع تثبيت العوامل الأخرى ، طال عمر



القاعدة وفى المتوسط يستمر عمر القاعدة حتى تؤدي ٤٠ - ٧٥ صبة ، وقد نبلغ فى بعض الأحيان ١٠٠ صبة .

وتعوق القواعد التى استعمل فى دكها الماكينات الهزاة فى صمودها للتآكل تلك التى دكت بواسطة ماكينات الدك .

وقد يستخدم المجنزيت فى بعض الأحيان فى عمل الودنات الهوائية الموجودة بالقاعدة وأحيانا يستعمل القواعد ذات الودنات المصنوعة من المجنزيت حيث تشكل تحت ضغط عال ١٠ م يكون حرقها بطريقة خاصة . وفى هذه الحالة تصل قوة حمل هذه الودنات للضغط ٣٥٠ - ٦٢٠ كجم/سم<sup>٢</sup> ويطول بفاؤها كلما كانت متانتها أشد عند درجات الحرارة العادية .

توضع الخلطة على قاعدة من الحديد المصبوب ثم ينحكم فيها بواسطة مسامير خلال الفتحة الوسطى ثم يبدأ العامل فى ملء الفراغات بينها طبقة طبقة بخليط من الدولوميت المقطرون الذى يبلغ درجة حرارته ما بين ٧٠ - ٨٠° م وتكبس بواسطة ماكينات الدك أو الماكينات الهزاة . وقبل وضع الطبقة الأخيرة نولج أبر خشبية فى فتحات الفصببات حتى تمنع انسدادها . ثم نحرق القاعدة بعد ذلك بطريقة خاصة تناسب أنواع الحرايات المستخدمة فنسخن القاعدة أولا إلى ٢٥٠° م ثم نرفع درجة حرارتها إلى ٦٥٠ - ٧٥٠° م ونركب فى المحول قبل أن يبرد تماما .

ويجب أن نأخذ جانب الحبطة والحذر فى عدم تعرض القواعد ذات الفتحات المصنوعة من المجنزيت لعوامل التبريد اذ يفتقر المجنزيت إلى اتبوت الحرارى المناسب ولهذا فعند عدم استعمال المحول يجب أن يظل ساخنا بواسطة فحم الكوك أو الغاز .

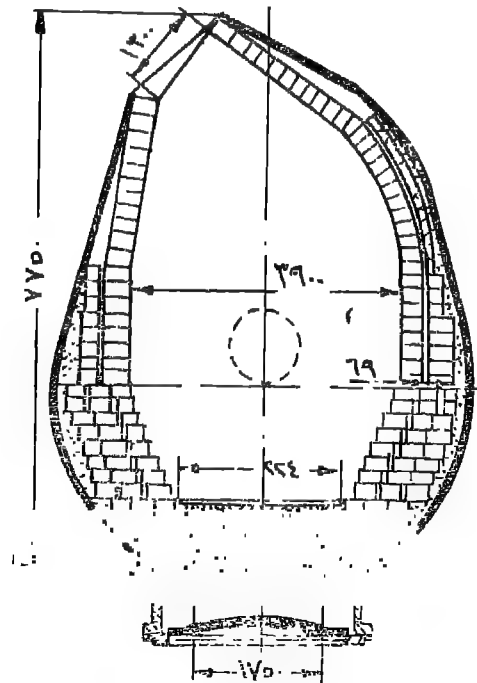
ويستهلك هذا النوع من القواعد بانتظام ويكفى لصنع عدد كبير من الصببات يصل إلى أكثر من ١٠٠ صبة ( من ٧٠ - ١٤٠ صبة ) .

وطريقة تغيير القاعدة فى محول توماس هى نفس الطريقة المستخدمة فى محول بسمر ويستخدم لملء الفراغ بين القاعدة والمحول خليط من الدولوميت المقطرون دكا وفى جدول (١٠) تعطى الأبعاد الأساسية لبعض محولات توماس المختلفة السعة .

وفى الوقت الحاضر تستخدم صناعات محولات سراوح سعتها بين ١٥ - ٦٠ طنا .

وفى محولات توماس يكون الحجم النوعى ( حجم المحول لكل ١ طن

من الشحنة ) اكبر منه في محول يسمر وقد أوجب هذا ضخامة حجم الحطب المتكون وسده النفاعات التي نحدث داخل المحول .  
 ومن الطبيعي أن سغير قيمة الحجم النوعي بين ١٨١ - ١٨٦ م<sup>٣</sup>/طن في تول عمر البطانة ، ١٨٣ - ٢٠٣ م<sup>٣</sup>/طن في أواخر عمر البطانة .  
 وتتراوح نسبة ارتفاع المحول الى قطره الخارجى ١٨٣ - ١٨٨ ونسبة الارتفاع الى القطر الداخلى ( فى حالة البطانة الجديدة ) بين ١٨٦ - ٢٠٣ تبعاً لسعة المحول .  
 وقد أوضحت أبحاث عديدة ان الفترة الزمنية لعملية النفخ ونسبة النروجين فى الصلب تنخفضان مع انخفاض ارتفاع حمام ( مغطس ) المعدن .  
 ويمكن تحقيق ذلك بزيادة قطر المحول مع تثبيت وزن الشحنة وهو ما يحدث فى المحولات ذات الشكل البيضاوى أو التى على شكل الكمبرى وتبلغ النسبة بين محورى البيضاوى ( ١ : ١,٤ ) كذلك يمكن خفض ارتفاع المعدن فى المحول بانقاص سمك البطانة فى الجانب الذى يعرض لظروف نحات وتآكل أقل .  
 ويبلغ ارتفاع الحمام فى محولات نوماس ٦٠٠ ميلليمتر .



شكل (٢٠) : يبين احد المحولات له شكل الكمبرى وسعته ٥٠ طناً .

### ٣ - المواد الأولية اللازمة

#### لصناعة صلب توماس

تشمل المواد الأولية اللازمة لصنع صلب توماس : الحديد والزر ،  
الخردة ، الجير ونفايات التشكيل ، ولقد بحثنا آتأ دور الخردة وخام  
الحديد فى هذه الصناعة .

ويجب أن يحصى الجير على أكبر نسبة من أكسيد الكالسيوم كما  
يجب أن يكون ما يحتويه الكبريت والسليكا والالومينا أقل ما يمكن إذ أنه  
بانخفاض نسبة الكبريت فى الجير ٠١ / نخفض فى الصلب الناتج ٠٢ ر ٠٣ %  
ويسنحس أن يكون الجير المستعمل حديث الحرف لا يحتوى على أى  
رطوبة ونص المواصفات على أن يكون التركيب الكيميائى للحديد الزهر  
كما يلى :

سليكون	٠٢-٠٦ %
منجنيز	٠٨-٠١٣ %
فوسفور	٠٦-٠٢ %
كبريت	٠٨-٠٠٣ %

ويلاحظ هنا أنه ليس للسليكون الموجود بالحديد الزهر أية أهمية  
حرارية نذكر وبارتفاع نسبه السليكون فى الحديد الزهر يصبح الحث ذا  
طبيعية رعوية مما يؤدى الى زيادة المقذوفات الحديدية أثناء الفخ وبذلك  
نخفض الكفاية الانساجية للصلب الناتج وأيضا نزداد كمية الحث ويعمل  
ذلك على سرعة تأكل البطانة القاعدية .

ومن هذا كله ينضح خطورة نواجد السليكون بكميات كبيرة نسبيا فى  
الحديد الزهر وقد وجد أن أصلح النسب هى ما بين ٢ - ٣ % خاصة  
إذا زود هواء الفخ بالاكسجين النقى أو خليط منه مع بخار الماء .

واستنادا الى الحقيقة التى مؤاها أنه بنخفض نسبه السليكون  
بالحديد الزهر فى الأفران العالية نرفع نسبة الكبريت به فانه فى كثير من  
الاحيان نجرى عملية لنزع السليكون من الحديد الزهر التوماسى باستخدام  
الاكسجين ويتم هذا فى البوادر أو عند صب الحديد الزهر من الأفران  
العالية .

وكبدا مايضاف الحجر الجيرى الى الحديد الزهر بواقع ١ / منه وزنا  
فى البودقه قبل عملة الفخ .

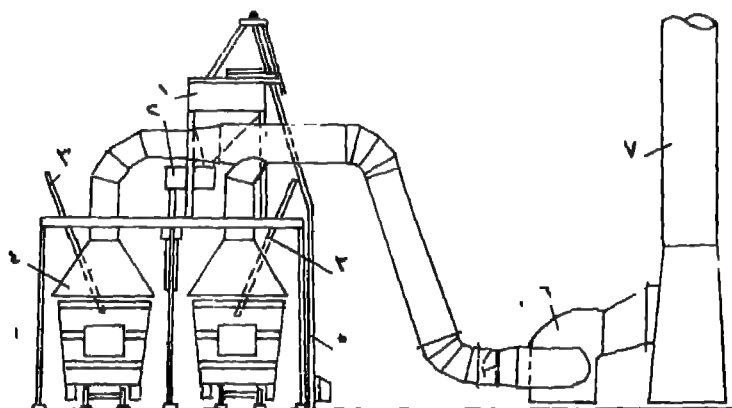
وبعض البيانات الخاصة بعملية نزع السليكون من الحديد الزهر  
موضحة بجدول ( ١١ ) .

جدول ( ١١ )

وزن المذيب الزهر ( طن )					
٢٠٠٩	٢٣٥٥	٢٩٨٥	٢٢	٢٠٠٢	
٢٥٥	٢٧	٤٢	٥٣	٧٨	% نسبة السليكون الموجود أولا
١٦	٢	١١	٢٢	٣٦	% الانخفاض في السليكون
٠٩١	١٠٢	١١	١١٧	١١٤	% نسبة المنجنيز الموجود أولا
٤٢	٣٣	١٩	٣٣	٣٦	% الانخفاض في المنجنيز
٣٨٩	٤٠٨	٤١٥	٤١٣	٣٩٨	% نسبة الكروم الموجود أولا
١١	٠٦	٠٩	٠٨	١١	% الانخفاض في الكروم
١٤٣	١٥	١٤٩	١٤٦	١٤٧	% نسبة الفوسفور الموجود أولا
٠٤	٠٤	٠١	٠٢	٠١	% الانخفاض في الفوسفور
١٧٠	١٤٣	١٤٨	١٣١	٢١٣	حجم الأكسجين المستخدم في ( البودقة ) م٣ مدة التفتح / دقيقة
١٩	١٨	١٧	٢٠	٢٠	

وما هو جدير بالملاحظة انعدام نصاعد الابخرة البنية في الحديد  
الزهر التوماسى عندما يتم النفخ فى البودقة بواسطة خليط من بخار الماء  
والاكسجين .

وقد بينت التجارب التى أجريت أنه باستخدام تيار من الاكسجين  
بمعدل ٨م<sup>٣</sup>/طن وبخار ماء بمعدل ٥ كجم/طن عند ضغط ٤.٥ ضغط  
جوى فان ٢٠ ٪ من السليكون يتم تأكسده ( وهذه النسبة تعادل  
٥١.٥ ٪ من الكمية الابتدائية ) . ٥٥.٠ ٪ من المنجنيز ( ٢٩.٥ ٪ من  
الكمية الأصلية ) أما الفوسفور فقد وجد عمليا أنه لا يطرأ عليه أى تغيير .



شكل (٢١) : وحدة تصنيع الحديد الزهر فى البودق بمعالجتها بالاكسجين :

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| ١ - بنكر الحجر الجيرى | ٢ - المتزى بالاضافات |
| ٣ - ودنة الاكسجين     | ٤ - الهوت            |
| ٥ - فادوس الرفع       | ٦ - العادم           |
| ٧ - الأتربة           |                      |

وإذا أضيف الى البودقة خليط من خام الحديد والحجر الجيرى بواقع  
١٥ كجم/طن من الحديد الزهر أدى ذلك الى زيادته فى كمية النشوائى  
المزالة .

وبذلك ترفع نسبة السليكون المتأكسد الى ٦٦.٧ ٪ ، والمنجنيز الى  
٤٠ ٪ من نسبتهما الأصلية ويتم النفخ خلال انبوبة فولاذية فطرها بوصة  
واحدة ومغمورة فى المعلن الموجود فى البودقة حتى عمق ١٥٠ - ٢٠٠ مم .

ومن الصعوبة بمكان ازالة الكبريت من الحديد التوماسى ولهذا كان  
لزاما أن تحصل به الى أقل نسبة ممكنة ودائما يحتوى الحديد الزهر  
التوماسى على كربون أقل مما يحتويه الحديد الزهر البسمى .

وتنحصر نقطة انصهار الحديد الزهر التوماسى بين ١٠٥٠ - ١١٠٠ م  
ويعمل ارتفاع نسبة الفوسفور به على زيادة سيولته مما يساعد على خلط  
الهواء بالمعدن جيدا .

#### ٤ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التي

##### تحدث في محول توماس

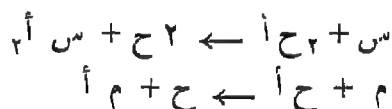
##### تغير التركيب الكيميائى للصلب والخبث أثناء مراحل النفخ المختلفة

يوضح شكل (٢٢) التغيرات المتوقعة فى تركيب الصلب والخبث  
كما يبين درجات الحرارة طوال عملية نفخ الهواء فى محول توماس .

ويمكن تقسيم مراحل النفخ المختلفة الى ثلاث مراحل فرعية :

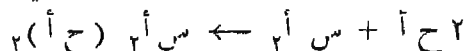
##### الفترة الاولى :

يشحن المحول بالجير الحى والخردة والحديد الزهر ثم يشبت فى وضع  
راسى مع تشغيل هواء النفخ فتستهل اولى الفترات فى عملية النفخ مع  
ظهور لهب قصير وضعيف الاضاءة وتشبه هذه المرحلة نظيرتها فى مراحل  
النفخ بمحولات بسمر حيث تختص بأكسدة المنجنيز والسليكون :



##### ويحدث هذان التفاعلات خلال الدقائق الأولى للنفخ :

ويتم أكسدة الكربون أيضا خلال هذه المرحلة ولكن بمعدل منخفض جدا  
يكاد يكون غير ملحوظ وذلك لانخفاض درجة الحرارة ويتكون خبث هذه  
المرحلة من م أ ، س أ ٢ ، ح أ كما فى المرحلة الأولى من النفخ فى محولات  
بسمر وتذوب فى الحديد المصهور نسبة ضئيلة من الجير الحى ( أكسيد  
الكالسيوم ) ويظل الباقي محتفظا بحالته الصلبة ومنفصلا عن الشحنة  
المنصهرة مما يؤدى الى احتواء الخبث على جزء كبير من سليكات الحديد  
التي تتكون نبعاً للمعادلة الآتية نطفو فوقها كتل الجير الحى :





ونسفركى هذه المرحلة نحو ثلاث دقائق ونحتوى الغازات البانجة عنها على حوالى ٧ - ١٢ ٪ من الأكسجين ، ١٠ ٪ من ثانى أكسيد الكربون . ٨٠ ٪ من النينروجين .

## ٢ - الفترة الثانية :

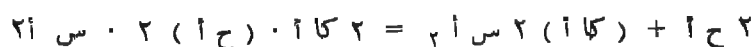
وننفرد هذه المرحلة بأكسدة الكربون متميزة بنمو سريع وواضح فى طول اللهب المنبعث من فوهة المحول مع وميض وشدة فى الأضاءة لكنها تكون أقل اضاءة عن تلك التى فى حالة محول بسمر ويرجع هذا الى انخفاض نسبة السليكون فى سحنة بوماس عن نسبة السليكون فى سحنة بسمر السبب الذى يؤدى الى انخفاض نسبى فى درجة الحرارة كما أن التفاعل :  

$$C + K \rightarrow CK + \text{المصاص أيضا للحرارة يعمل على خفض درجة الحرارة أيضا} .$$

وأثناء هذه الفترة يتأكسد الفوسفور أيضا بنسبة غير محسوسة ويمكن اهمالها ، وبارتفاع درجة الحرارة فى نهاية هذه المرحلة يتمكن أكسيد المنجنيز من الاختزال وهذا بديهى نظرا لأن تأكسد المنجنيز تفاعل طارد للحرارة وهذا لتعبلل مناسب ومعقول يوضح سبب ارتفاع نسبة المنجنيز نائبة فى الصلب الناتج .

والمحتى الذى يبين سلوك المنجنيز أثناء عملية النفخ يشبه تلك الحدة ( التى تنسب سنام الحمل ) وهذه الحدة تمثل الارتفاع المفاجىء فى نسبة المنجنيز فى الصلب .

وتتوالى تناعا فى هذه المرحلة العماليات المختلفة لتكوين الخبث فيبدأ الجير فى الذوبان ويتحد بالسليكا كما فى التفاعل :



كما يتحد جزئيا بخامس أكسيد الفوسفور  $2 \cdot 5$  كما فى التفاعل



وبينما تزداد نسبة الجير  $CaO$  فى الخبث تنخفض كمية السليكا فيه وعندما فصل الى نهاية المرحلة تبدأ شعلة اللهب فى الشحوب والقصر نتيجة لتأكسد معظم الكربون فقد يصل نسبة الكربون الى حوالى ٥ ر ٪ .

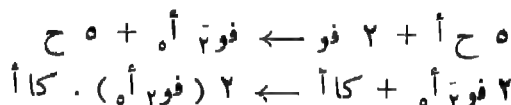
وبتحليل الغازات الناتجة فى أول المرحلة البانجة من مراحل النفخ نجد انها تحتوى على نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون  $CO$  قد تصل الى



أكثر من ٣٠٪ بينما نسبة ثاني أكسيد الكربون ك ٢١ لا تتعدى ٥٪ ونسبة النتروجين تكون تقريبا ٦٥٪ وبالاقتراب من نهاية هذه المرحلة نجد أن نسبة أول أكسيد الكربون فقد انخفضت بشدة في الوقت الذي ترتفع فيه نسبة النتروجين التي تبلغ ٩٢٪ ولا يظهر اللاكسجين أى أثر في هذه التحاليل بينما يظهر وجود الهيدروجين في الغازات الناتجة ولو أن نسبته تكون ضئيلة جدا لا تتجاوز ٣٪ ويكون ذلك نتيجة لتحلل الرطوبة الموجودة بهواء النفخ .

### ٣ - الفترة الثالثة :

المرحلة الثالثة والأخيرة هي المرحلة التي يتم فيها إزالة الفوسفور ، وعندما تكون كمية الكربون متخفضة تزداد كمية أكسيد الحديدوز في الخبث ويذوب الجير الحى في المحول بسهولة وتعتبر هذه أحسن الظروف لأكسدة الفوسفور واتحاده بالجبر كما في التفاعلات .



ومما هو واضح أن كمية كبيرة من الحرارة تتكون نتيجة لعمليات الأكسدة والخبث مما يعمل على رفع درجة حرارة المعدن ويزيد من سيولته، ويستمر النفخ في هذه الفترة حتى نحصل على النسبة المطلوبة من الفوسفور .

ويتخلل هذه الفترة عمليات تصحيح فنؤخذ عينة من المعدن داخل المحول ويكشف عن الفوسفور بمجرد النظر خلال نظارة خاصة ، وتحتاج هذه العملية الى خبرة طويلة .

وأثناء هذه الفترة تتأكسد كمية لا بأس بها من الحديد فتنبعث من فوهة المحول أبخرة بنسبة كثيفة من أكاسيد الحديد .

ويتمثل التنبؤ بالدرجة التي وصلت إليها عملية إزالة الفوسفور بمجرد النظر الى شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول بل يمكن عمل تقدير مبدئي ذى دقة كافية لدرجة إزالة الفوسفور وذلك استنادا الى عملة التوقيت الزمنى بعد الفترة النائية مباشرة حيث يظهر بوضوح اختزال اللهب في هذه الفترة ويصبح الخبث مشبعا بخامس أكسيد الفوسفور وأكاسيد الحديد المختلفة بينما تنخفض نسبة ثاني أكسيد السيليكون وترتفع كمية الجير الحى ( أكسيد الكالسيوم ) نسبيا .

أما الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة فتتكون أساسا من النتروجين كما يتصاعده أول وثاني أكسيد الكربون بنسبة ضئيلة .

ويتضح من ترتيب هذه الفترات استحالة بوقف عملية النفخ للحصول على صلب على الكربون لأنه في هذه الحالة سوف يحوى على نسبة عالية من الفوسفور ولكن يمكننا رفع نسبة الكربون بإضافة مواد مكربنة مثل الشبيجل .

## ٥ - إزالة الكبريت من محول

### توماس

إذا احتوى الحديد الزهر التوماسى على نسبة زيادة من المنجنيز ١٪ فإن التفاعل الطارد للحرارة يحدث أثناء نقل الحديد الزهر الى الحلاط وأيضا فيه ويكون نتيجة لهذا فكون كبريتيد المنجنيز م كب وهذا المركب شحيح الذوبان فى الصلب عن كبريتيد الحديد ح كب أما فى المحول فلا توجد الظروف الملائمة لحدوث مثل هذا التفاعل .

وقد يتم إزالة الكبريت بتكوين كبريتيد الكالسيوم كا كب وذلك بتفاعل م كب . ح كب مع أكسيد الكالسيوم كا أ .

وبفحص ظروف الاتزان وتكوين كبريتيد الكالسيوم يتضح أنه لازالة الكبريت جيدا يجب أن يكون الحث محبوا على كمية كبيرة من أكسيد الكالسيوم المفرد ، محتويا على كمية منخفضة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز .

وفى محول توماس عندما تقترب عملية النفخ من الانتهاء يبدأ الجبر فى الذوبان فى الحث ويصبح عندئذ ذا أثر كبير عندما تكون نسبة الكربون منخفضة وكمية أكسيد الحديدوز بالحث عالية وهذا يقيد ( أو يحدد ) درجة ازالة الكبريت وفى الصبة البينة بشكل ( ٢٢ ) لا تزيد درجة الازالة ٢٣٪ ) .

ولهذا السبب فانه لانتاج صلب منخفض الكبريت يجب اجراء عملية ازالة الكبريت على الحديد الزهر قبل صبه فى الحلاط أو المحول .

ويمكن ازالة الكبريت من الحديد الزهر بإضافة ( الصودا آش ) أو خليط يحتوى على الصودا ، الجبر ، الفلويت .

وقد أجريت عدد من التجارب لاختبار حقن الحديد الزهر التوماسى بالجبر الناعم بواسطة تبار من النتروجين وفى بودقة خاصة . وقد وجد أن الكبريت المحوى قد انخفض بنسبة ٩٠٪ خلال ثلاث أو أربع دقائق بينما تظل درجة الحرارة ثابتة ،

## ٦ - خبث توماس

نظرا لارتفاع نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس فإنه بعد معالجته بطريقة خاصة يصبح نافعا لاستخدامه كسماد للأرض الزراعية وقد أوضحت الأبحاث أن خامس أكسيد الفوسفور هذا يكون مرتبطا بأكسيد الكالسيوم على هيئة ( كا أ ) ؛ ( فو ٢ أ هـ ) كما يحتوى الخبث أيضا على عدد من المركبات كا ٢ أ . س ٢ أ . كا أ . لو ٢ أ ولكي يكون الخبث مفيدا للتربة الزراعية كسماد يجب أن يحتوى على كمية مناسبة من السليكا . ولهذا فإنه أحيانا يضاف بعض رمل الكوايز الى الخبث أثناء صبه في حبل الخبث ، ويجب أن تقل نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس عن ١٤ - ١٦٪ وعادة ما تكون النخاليل الكيميائية النباتية لخبث توماس الناتج عن نفخ الحديد الزهر بالهواء في هذه الحدود .

ويقع تركيب خبث توماس عند نهاية النفخ بالهواء في الحدود التالية :

كا ١٤٥ - ٥٠٪ ، س ٢ ٣٥ - ٦٪ ، فو ٢ أ هـ ١٦ - ٢٢ / ، م ٤ - ١٠٪  
ح أ ١٢٥ - ١٧٪ ، لو ٢ أ ١ - ٢٪ ، مغ ٢٥ - ٦٪ كما هو موضح  
بجدول ( ١٢ ) .

مَرْكَبُ الْغَيْثِ :

تركيب الجيث %									
١٥	٢	فوز ٥	٢	لوز ٢	٢	١	١	١	١٥
٤٨,٣١	٥,١٧	١٧,٥٨	٤,١٩	١,٩٢	١٧,٧٢	٣,٨٢	٠,٩٣	٢,٠٩	٤٨,٣١
٤٧,٨٢	٦,٠٥	١٧,٥٧	٤,٨٣	١,٥٧	١٨,٥٨	٢,٨٩	٠,٤٨	٢,٠٤	٤٧,٨٢
٥٠,٨٠	٤,٥٨	٢١,٢٠	٤,٣٢	١,٣٢	١٣,٢٩	٢,٤٨	٠,٥٨	١,٩٥	٥٠,٨٠

## ٧ - الانحرافات في تشغيل محولات توماس

### وطرق علاجها

#### الانخفاض في درجة حرارة الشحنة :

لا شك في أن أهم المستلزمات للحصول على صلب بالمواصفات المطلوبة هو :

- ١ - حديد زهر ذو تحليل كيميائي ودرجة حرارة ثابتتين .
- ٢ - توافر الجودة العالية في الخام ، والجبر ، والحردة .

وفي أثناء التشغيل يكون هناك احتمال كبير لحدوث الانحرافات المختلفة بالرغم من ثبوت العوامل المختلفة والظروف الأخرى . ففي كثير من الأحيان ترتفع درجة الحرارة داخل المحول كيرا وبذلك تزداد الفرصة لهروب المقذوفات الحديدية وتناثرها خارج المحول . وفي أحيان أخرى تنخفض درجة الحرارة بشدة وفي هذه الحالة يفقد كبر من المعدن نسبة لصبه عند هذه الحرارة المنخفضة .

ويرجع الارتفاع الشديد في درجة الحرارة الى نواجد الشوائب ( السليكون ، منجنيز ، والفوسفور ) في الحديد الزهر بكميات كبيرة وفي مثل هذه الظروف يكون من المناسب تصحيح الحرارة الى الدرجة المطلوبة باضافة كمية من الحردة ، والخام ، والنفايات المعدنية أو الجبر .

وفي أغلب الأحيان يكون الارتفاع الشديد في درجة حرارة الحديد الزهر وارتفاع نسبة أحد مجموعة الشوائب مرده الى حدوث بعض الأخطاء العارضة والتي يجب تلافيها .

واذا كان الارتفاع الشديد في درجة الحرارة راجعا الى زيادة نسبة السليكون في الحديد الزهر الشديد السخونة فإنه يمكن تبريد الشحنة الى الدرجة المطلوبة باضافة الحردة وبعض الجبر أثناء الفترة النائية . وبعد عدة دقائق من النفخ يزال الحث المتكون ثم يضبط الحث الجديد بواسطة اضافة الجبر وعندئذ تتمكن من ضبط درجة حرارة الشحنة وتلافى نتائج المقذوفات خارج المحول بسبب صغر حجم الحث .

واذا كان المنجنيز هو المسئول عن هذا الارتفاع في درجة الحرارة أضيفت الحردة وحدها .

وزيادة نسبة الفوسفور تعمل على رفع درجة الحرارة في الفترة النالية

وفى هذه الحالة يكون التصحيح باضافة قطع صغيرة من الحردة والنفائات المعدنية حتى يتم انصهارها فى وقت قصير .

وأحيانا يكون التبريد خلال الفترة الثالثة بواسطة قوالب من النفائات المعدنية والجبر اذ أنه ليس من المنطق فى شىء اضافة الجبر فقط فى الفترة الثالثة لأنه باضافته يصبح الحُبث غليظا ( غليظ القوام ) ونزداد لزوجه مما يؤدى الى فقد كثير من الصلب الناتج نسجة لتصبه الحُبث له . . . . هذا بالاضافة الى ضخامة كمية الحُبث .

ومن المستحسن اضافة خام الحديد والنفائات المختلفة من عملبات الدرفلة بقصد تبريد الشحنة وذلك قبل الفترة الثالثة من فترات النفخ . وتنوقف الاضافات على درجة التسخين المطلوبة .

وباضافة خام الحديد والنفائات المعدنية قرب نهایه الفترة النائية تقلل نسبة النتروجين الموجود بالصلب لأنها تعتبر مصدرا ثانويا للأكسجين اللازم لعمليات الأكسدة وعلى هذا الأساس يتحدد مدة النفخ تبعاً لكمية هذه الاضافات وبذلك تقل فرصة ذوبان النتروجين فى الصلب .

ويفضل اضافة النفائات المعدنية من خام الحديد حيث انها لا تحتوى على السليكا ويضاف الخام على هيئة كتل مناسبة فى الحجم حتى لا يتطاير بعيداً عن المحول أثناء النفخ .

### القصور الحرارى :

يرجع القصور الحرارى هذا الى انخفاض الحرارة الطبيعية والكيميائية للحديد الزهر والمقصود بالحرارة الكيميائية هو ما يحتويه الحديد الزهر من شوائب قابلة للأكسدة مثل السليكون - المتجنيز ، والفوسفور وتعالج مثل هذه الحالة باضافة السليكو شبيجل فى المحول فيتأكسد ما به من سليكون ومتجنيز وبذلك ترتفع درجة الحرارة .

أما اذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة لاضافة الجبر بكميات كبيرة كان مناسباً اضافة الفيرو سليكون وعندئذ يتحد الجبر الزائد مع السليكا الناتجة ويصبح الحُبث أكثر سيولة .

ومما هو جدير بالذكر أنه اذا لم يكن الجبر قد تم تحميله جيداً لتحليل الحجر الجيرى تماماً أدى ذلك الى استهلاك كمية كبيرة من حرارة الشحنة فى هذا الغرض وانخفضت درجة الحرارة ولاستعمال مثل هذا الحجر يجب تأخير صب الحديد الزهر فى المحول بعض الوقت حتى يمكن استغلال بعض حرارة المحول فى تحميل صلب الجير المضاف جيداً ويجب أيضاً اضافة بعض الاضافات المسخنة فى مثل هذه الحالة .

## ٨ - الطريقة الحديثة لإنتاج الصلب التوماسي

### منخفض النتروجين - منخفض الفوسفور

يختلف صلب توماس عن صلب الأفران المفتوحة إذ يحتوي على نسبة أعلى من النتروجين والفوسفور فيحتوي صلب توماس المطاوع والذي تم صنعه بنفخ الهواء فقط على ٠.١٢ - ٠.٠٩٪ نتروجينا (يحتوي صلب الأفران المفتوحة على ٠.٢ - ٠.١٪ نتروجينا) ، ٠.٥ - ٠.٩٪ فوسفورا وهذه النسبة أقل من ٠.٣٪ في صلب الأفران المفتوحة .

وجود مثل هذه الشوائب بالنسب المذكورة في صلب توماس يكسبه كثيرا من الخواص التي تجعل ميدان استعماله ونظيقاه محدودا وضيقا فهو أكثر هشاشة عن صلب الأفران المفتوحة وقابليته للحام الكهربائي ضعيفة ومن الصعوبة تشكيله باردا .

ويمكن تلافي مثل هذه العيوب بتحفيض نسبة النتروجين المحتص في الصلب أثناء النفخ والاقلال مما يحنويه من فوسفور . ولقد أجريت أبحاث واسعة في هذا المجال أدت الى وجود العوامل الآتية والتي لها التأثير المباشر والأساسي في نسبة النتروجين المحتص بصلب توماس .

١ - درجة الحرارة عند نهاية النفخ ، وقد وجد انه اذا كانت درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ معتدلة فان الصلب الناتج يحتوي على نتروجين أقل عند نفس درجة الحرارة النهائية .

٢ - عملية النفخ .

بديهي أنه كلما قل زمن النفخ كلما قلت فرصة تلامس النتروجين والصلب .

٣ - معدل تأكسده الكربون : يناسب معدل ازالة النتروجين مع معدل احتراق الكربون .

٤ - ارتفاع الشحنة المنصهرة داخل المحول .

يفل ذوبان النتروجين في الصاب كلما قل ارتفاع طبقة المعدن داخل المحول .

٥ - كمية النتروجين في غازات المحول .

يمكن الحصول على صلب توماس منخفض النتروجين بمراقبة الظروف المطلوبة ، وتستخدم الطرق الآتية في مثل تلك الظروف :

- ( أ ) ضبط درجة الحرارة بإضافة خام الحديد والنفايات المعدنية .
- ( ب ) استعمال النفخ الجانبى والسطحى واختزال عميق سطح المعدن فى المحول .
- ( ج ) استعمال خليط من الهواء والبخار فى النفخ .
- ( د ) تزويد هواء النفخ بالأكسجين .
- ( هـ ) استعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ .
- ( و ) استعمال خليط من الأكسجين ونانى اكسيد الكربون فى النفخ .

### ضبط درجة الحرارة بإضافة خام الحديد والنفايات المعدنية :

يمتص الفولاذ الجزء الأكبر من النتروجين أثناء الفترة الأخيرة من فترات النفخ عندما ترتفع درجة الحرارة بحددة ويعد ارتفاع فى نسبة النتروجين بمقدار ٠.٢٪ لكل ٥٠ م فى درجة الحرارة ارتفاعا اذا استخدم الهواء فقط فى النفخ ، وعلى هذا الأساس فان ضبط درجة الحرارة عند نهاية النفخ كعامل أساسى وهام لاختزال نسبة النتروجين الدائبة فى الصلب الى أقل حد ممكن . ويمكن استخدام كل من الحردة - الجير - الحجر الجيرى - خام الحديد - النفايات كعوامل مبردة وكلما زادت الاضافات المبردة كلما قلت نسبة النتروجين عند ثبوت درجة الحرارة النهائية للعملية .

وبإضافة خام الحديد أو النفايات المعدنية نحصل على نتائج أفضل لانه فى مثل هذه الحالة الى جانب الانخفاض فى درجة الحرارة فاننا نحناج الى فترة نفخ أقصر بسبب اشتراك هذه المبردات فى مد الشوائب بما تحويه من أكسجين وتقل بعا لذلك نسبة النتروجين فى الصلب الناتج . واستنادا الى درجة الحرارة أثناء النفخ وكمية السليكون بالحديد الزهر يمكننا تحديد كمية الحام والحردة التى يجب اضافتها وتراوح فى الغالب بين ٣ - ٨٪ من وزن الحديد الزهر سواء كان ذلك فى بداية النفخ أم خلاله . ونخفض نسبة النتروجين بالصلب بحددة خصوصا عند نهاية فترة اكسدة الكربون .

واذا كانت كمية المبردات المضافة كبيرة نسبيا فانه فى هذه الحالة يجب سطرها فسمين يضاف أولهما أثناء الفترة الأولى من فترات النفخ والثانى خلال فترة النفخ الثانية حتى نتلافى انخفاضاً كبيراً فى درجة الحرارة عند نهاية النفخ .



ولقد ثبت أنه بإضافة ٥٠ كجم من هذه المبردات لكل طن من الصلب تقل نسبة النتروجين به ٠.٢٪ .

وبإضافة خام الحديد بكميات تتراوح بين ٢ - ٢.٢٪ من وزن الحديد الزهر قبل النفخ ، يزداد معدل احتراق الكربون ويقل تبعاً لذلك نسبة النتروجين ( فلا تزيد عن ٠.١٢٪ ) . والفوسفور أيضاً . ويعزى الانخفاض في نسبة الفوسفور الى سرعة تكون الحبيث عند اضافة خام الحديد وارتفاع نسبة أكاسيد الحديد به .

### طريقة النفخ المزدوج ( النفخ على مرتين ) :

وفى هذه الطريقة توضع ٥٠ - ٦٠٪ من الشحنة فقط فى المحول بعد سحنه بكمية الجير اللارمة كلها ثم يبدأ النفخ بالضغط الكلى ويسمر النفخ حتى يصل بالكربون الى نسبة ٠.٤ - ٠.٥٪ فيتوقف النفخ ثم تضاف كمية الحديد الزهر المتبقية وعندئذ تبدأ تفاعلات عنيفة بين الشوائب الموجودة بالحديد الزهر وبين الحبيث الغنى بأكاسيد الحديد ونتيجة لهذا يزال الفوسفور جزئياً من الصلب المتكون وعندما نقل التفاعلات عنفاً يعاد النفخ مرة ثانية لمدة دقيقتين عند ضغط أقل من الضغط الأول .

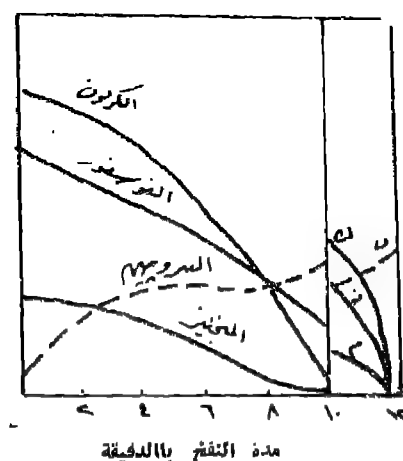
وعند نهاية النفخ فى المرة الثانية تهبط كمية الفوسفور بنسبة ٠.٤٥٪ .

ولما كان النفخ فى المرة الثانية قد بدأ عند نسبة من الكربون عالية نسبياً لذا كانت كمية الحديد المفقودة من جراء التأكسد أقل منها فى حالة النفخ بالطريقة العادية ( النفخ دفعة واحدة ) . فمثلاً اذا كانت التحاليل الحبيث المتكون بطريقة النفخ العادية هى : -

١٠٪ حديد ، ٥٪ منجنيز ، ١٧٪ خامس أكسيد الفوسفور فانه بتطبيق طريقة النفخ على مرتين تصبح التحاليل كالتى : ٨.٥٪ من الحديد ، ٤٪ من المنجنيز ، ١٧٪ فو ٢ ا ٥ .

ومن أهم مميزات هذه الطريقة انخفاض نسبة النتروجين بالصلب الناتج حسب ينم النفخ فى المره الاولى وارتفاع المعدن بالمحول فيكون الانخفاض للنصف وفى مدة زمنيه أقصر اذا قورنت بالطريقة العادية .

ويبين الشكل رقم ( ٢٣ ) سلوك الشوائب أثناء تأكسدها بتطبيق طريقة النفخ المزدوج .



شكل (٢٣) : بين أكسدة الشوائب بالطريقة المزدوجة

### النفخ الجانبي والسطحي :

تقل مدة تعرض الحديد لهواء النفخ بانخفاض سطح المعدن في المحول والتبعية يقل ذوبان النتروجين في الصلب الناتج .

ولقد أثبت النجارب أنه عند انتهاء عمر بطانة المحول أي عندما تكون البطانة قد بدت تماما يقل النتروجين الممتص بالصلب .

ولقد بات مؤكدا أنه بخفض سطح المعدن في المحول ١٠٠ مم تقل نسبة النتروجين في الصلب بمقدار ٠.٢٪ .

وفي النفخ الجانبي يدفع نيار الهواء في المحول تحت طبقة رقيقة من المعدن أو عند سطحه بالكاد ، ولهذا فإن الجزء الأعظم من المعدن لا يكون اتصاله بهواء النفخ مباشرا . الأمر الذي من شأنه أن تكون فرصة ذوبان النتروجين بالصلب أقل .

وتتأكسد الغالبية العظمى من الشوائب ناكسيدا غير مباشر اذ يقوم أكسيد الحديدوز منتشرا في شتى أنحاء المعدن بتقديم ما يجمه من أكسجين لها ولهذا تستغرق عملية التأكسد هذه مدة أطول وتطول عممية النفخ .

فمثلا سينغرق عملية النفخ العاديه ( النفخ خلال قاع المحول ) ٢٦ ثانية لكل طن من الصلب الناتج بينما تستغرق في حالة النفخ الجانبي ٦٠ ثانية / طن صلب وبمعنى آخر تهبط سعة المحول الى النصف عموما .

ولقد جعلت الحرارة الزائدة والنانج عن احتراق أول أكسيد الكربون في الامكان عمليا نفخ الحديد الى الدرجة المطلوبة لصب الصلب حتى لو احتوى الحديد الزهر على ٢ - ٣٥ ٪ فوسفورا .

ومما يجب معرفته احتواء الحبث على نسبة من أكاسيد أعلى في حاله استعمال طريقة النفخ من خلال فاع المحول ، ولهذا فان عمالية ازاله الفوسفور تكون أكثر فاعالية ونجاحا باستخدام طريقة النفخ الجانبى لمحول نوماس في حالات خاصة وعندما تكون نسبة الفوسفور بالحديد الزهر حوالى ١٥٪ فان الصلب الناجح يحتوى على فوسفور لغاية ٠.٣٪ دون اعادة عملية النفخ ، وبصيغة أخرى يزال الفوسفور أثناء حرق الكربون .

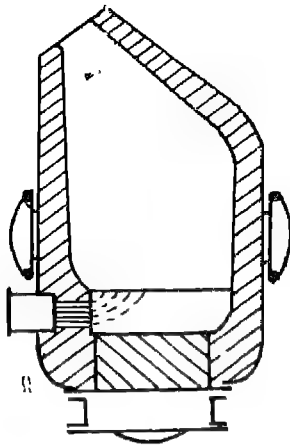
وقد أمكن في معظم الحالات ( ٩٨ ٪ ) منها الوصول بالفوسفور في الصلب الى أقل من ٠.٥٪ اذا كانت نسبته أصلا في الحديد الزهر ٣٥٪ دون اعادة عملية النفخ ولا تتعدى نسبته النتروجين في هذا الصلب ٠.٠٤٦ - ٠.٠٩ ٪ .

وستستخدم هذه الطريقة من طرف النفخ بنجاح لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتية : -

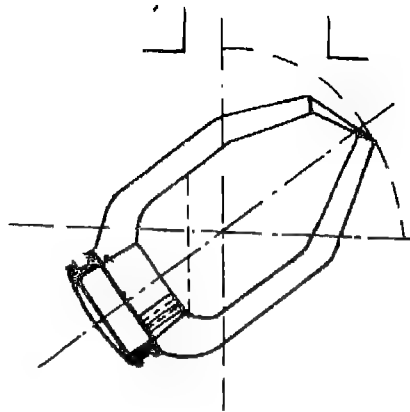
٠.٩ - ١.٢ ٪ سيليكونا ، ١.٣ - ٢.٢ ٪ منجنيزا ، ٢٥ - ٢.٢ ٪ فوسفورا ( وفى بعض الأحيان قد تصل نسبة الفوسفور الى ١.٨ ٪ ) .

ويمكننا النزول بنسبة النتروجين في المحول العادى بتنظيم فونيات دخول الهواء بكيفية خاصة وتشغيل هواء النفخ والمحول مائل .

ومتل هذا المحول موضح في شكل ( ٢٥ ) وتبلغ قطر قصبات الهواء ٢٥ مليمترا وتنظم في خمسة صفوف على جانب قاعدة المحول المقابل لاهه المحول وتبلغ نسبة النتروجين بالصلب الناتج في محول كهذا ٠.٨٪ أما الحديد فتصل نسبته في الحبث الى ٩٪ ويلاحظ شدة نثار المقذوفات الحديدية خارج المحول وأثناء النفخ بالرغم من المميزات العديدة التى تنفرد بها هذه الطريقة فلا ندعش اذا لم يكن النجاح الكبير والانتشار الواسع من نصيبها اذا أنا اذا بحثنا عن عمر المحول وسعنه وجدنا انخفاضا فيهما الى النصف .



شكل (٢٥) : يبين النفخ الدائبي  
في محول يسع ٢٠ طنا .



شكل (٢٤) : يبين النفخ السطحي  
في المحول .

### استعمال خليط من الهواء وبخار الماء في نفخ محول توماس :

يزود هواء النفخ بالأكسجين عندما يستبدل جزء من الهواء ببخار الماء ويحتوى المتر المكعب من البخار على ٧ كجم من الأكسجين بينما لا يحتوى المتر المكعب من الهواء على أكثر من ٣ كجم منه وبمعنى آخر فان بخار الماء يكون أغنى بالأكسجين من الهواء .

اثناء النفخ يتحلل تماما بخار الماء الموجود بالخبث ويستخدم الأكسجين الناتج عن هذا التحلل في أكسدة الكربون ولهذا نختزل الفترة الثانية من فترات النفخ - فترة نزع الكربون .

وبخار الماء ذو تأثير مبرد قوى وفعال فالحرارة المستنفزة لتحليل طن واحد منه تعادل الحرارة اللازمة لصهر ال ٤ طن من الحردة . وتنخفض هذه الحرارة الى ما يعادل صهر ٣ طن من الحردة اذا ارتفعت درجة حرارة البخار الى ٣٠٠م .

وكنوع من المقارنة يوضح جدول ( ١٣ ) الفرق بين الصلب الناتج بواسطة النفخ بالهواء والنفخ بخليط من الهواء وبخار الماء يزن المتر المكعب من البخار حوالى ٨ كجم . ١٨ كجم من الماء يحتوى على ١٦ كجم من الأكسجين وعليه فان المتر المكعب من البخار يحتوى على

$$\frac{٨ \times ١٦}{١٨}$$

= ٧ كجم من الأكسجين .

### جدول ( ١٣ )

النسبة المئوية للعناصر					
ن	كـب	فو	م	ك	
١٣ر	٠٣ر	٠٥٩ر	٢٦ر	٠٧ر	النفخ بالهواء
٠١٣ر	٠٣٧ر	٠٥ر	٣١ر	٠٦ر	النفخ بخليط من الهواء وبخار الماء
٠٠٧ر	٠٢٩ر	٠٣١ر	٣٢ر	٠٥ر	
٠٠٥ر	٠٣١ر	٠٣٨ر	٢٩ر	٠٥ر	
٠٠٧ر	٠٣١ر	٠٣٤ر	٣٢ر	٠٤ر	

وبمقارنة الطريقتين نجد أن نسبة الحديد في الخبث الناتج بالطريقة الثانية تبلغ ١٠٪ مقابل ١٢٪ في الطريقة الأولى .

وفي هذه الطريقة الثانية يصب الصلب الناتج عند درجة حراره أقل ١٥٤٠ - ١٥٦٠م مما يجعل من الصعوبة بمكان إمكانية الصب القاعى . ونزداد كمية الفاقد من الصلب فيقل العائد في بواى العصب .

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بخواصه الميكانيكية التى تضارع الخواص الميكانيكية لصلب الأفران المفتوحة والتى لها نفس التركيب الكيميائى .

هذا ولم يلاحظ أى تأثير ضار على خواص الصلب من جراء استعمال البخار الا أنها تقصر من عمر الفواىد .

### ٩ - استعمال الأكسجين فى محولات توماس

باستخدام الأكسجين فى نفخ سحنة الحديد الزهر بمحول توماس يمكن من إنتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة من حيث انخفاض نسبة النتروجين والفوسفور به وأيضاً من حيث الخواص الميكانيكية التى تتحكم فى عمليات التشغيل المختلفة .

وإذا استغينا عن كمية من الهواء بأخرى من الأكسجين أو إذا نم النفخ طيلة الوقت أو لجزء منه فقط باستخدام خليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو نأى أكسيد الكربون أدى ذلك الى تحسن ملحوظ فى الموازنة الحرارية لانخفاض نسبة النتروجين فى الغازات المتصاعدة من المحول وإلى قصر وقت النفخ وزيادة الكفاءة الانتاجية لاستغلال كمية أكبر من الحردة ونجم الحديد .

ومن مزايا هذه الطريقة أنها تسهل إزالة الفوسفور وتقلل من نسبة النتروجين بالصلب لدرجة كبيرة حيث انه بارتفاع درجة الحرارة تتمكن من اضافة كمية مناسبة من خام الحديد والنفايات المعدنية كمعامل مبردة وقد يضاف الحجر الجيري عوضا عن الجير .

هذه وتستخدم في وقتنا الحاضر طرق النفخ الحديثة الآتية لتحويل الحديد الزهر التوماسي :

- ١ - النفخ بالهواء المزود بالأكسجين .
- ٢ - النفخ بخليط من الأكسجين والبخار .
- ٣ - النفخ بخليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون .
- ٤ - النفخ العلوي باستخدام الأكسجين الخالص .

#### النفخ بالهواء المزود بالأكسجين :

يحتوي الهواء على ٢١٪ منه أكسجيناً ، ٧٩٪ نتروجيناً فاذا زيدت نسبة الأكسجين في الهواء الداخلة الى ٣٠٪ أو أكثر انخفضت كمية النتروجين في هواء النفخ وبالتالي نقل كمية الحرارة المفقودة التي يحملها النتروجين معه خارج المحول .

وقد تملكنا الدهشة اذا علمنا أن الحرارة المفقودة بواسطة متر مكعب واحد من النتروجين تكفي لصهر ١٤٥ كجم من الخرقة بينما باستخدام ٣١ م<sup>٣</sup> من الأكسجين في النفخ نتمكن من صهر ٦٥ كجم من الخرقة .

ومميزات هذه الطريقة متعددة ويمكن حصرها فيما يلي :

١ - بارتفاع درجة الحرارة يذوب الجير في المعدن المنصهر ويتحد بالسليكا في فترات النفخ الأولى التي تتم في جو من الهدوء النسبي ويطول استخدام بطانة وقواعد المحول كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسمح باضافة كميات أكبر من الخرقة .

٢ - وبسبب الاتزان الحراري عند درجة من الحرارة عالية فانه بارتفاع الأكسجين في هواء النفخ الى ٣٠٪ نتمكن من نفخ الحديد الزهر مهما انخفضت نسبة الفوسفور به فمثلا ١٩٩ - ٣٧٪ فوسفورا ، ٢٤ - ٤٧٪ سليكونا ، ٩ - ١٤٪ كما لا يكون لحرارته الطبيعية أى اعتبار في هذه الحالة .

٣ - تزداد سعة المحول نتيجة لنقص مدة النفخ .

٤ - ترتفع الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد الناتج الى حوالى ٨٧-٨٨٪ ( مقابل ٨٦٪ فى حالة استخدام الهواء فقط فى النفخ ) وذلك بسبب انخفاض نسبة الحديد الضائع فى الخبث الى حوالى ١٢ - ١٣٪ ( بدلا من ١٣-١٤٪ فى حالة النفخ دون استخدام الأكسجين ) .

٥ - يساعد الارتفاع فى درجة الحرارة كثيرا على ازالة الكبريت .

٦ - يطرأ تحسن ملحوظ على خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به واذا ضبطنا درجة الحرارة بنجاح أو بمعنى آخر اذا توقف تدفق الأكسجين عند الوقت المناسب أمكن النزول بنسبة النتروجين الى ٠.١٪ ( تتراوح النسبة بين ٠.٠٨ ر - ١٢ ر ٪ ) .

ويمكننا تعليل نسبة النتروجين عن هذا الحد باضافة النفايات المعدنية أو باستبدال جزء من الجير بجزء مناظر من الحجر الجيرى دون أن نخشى هبوط درجة الحرارة عن مستواها العادى فالأكسجين الموجود بهواء النفخ يقوم بتعويض الحرارة المفقودة .

وبتحليل الحجر الجيرى ( كربونات الكالسيوم ) ينبعث ثانى أكسيد الكربون الذى يتفكك بدوره الى أول أكسيد الكربون والأكسجين حيث يقوم الأكسجين بأكسدة الكربون ولهذا تنخفض كمية النتروجين فى هواء النفخ حيث يستعان بنائى أكسيد الكربون الناتج عن تحلل الحجر الجيرى بواسطة جزء من هواء النفخ وبالتبعبة نقل مدة النفخ .

ومن الأهمية بمكان عدم استطاعة تطبيق هذه العملية فى حالة النفخ بالهواء فقط اذ أن عمليات التحلل السابقة تحتاج الى كمية هائلة من الحرارة .

والتبريد الناجم عن استبدال ١ كجم من الجير يساوى التبريد الناشئ عن اضافة ١٩ كجم من الخرقة ولهذا السبب أصبح من الضرورى زيادة نسبة الأكسجين فى هواء النفخ حتى نحافظ على كمية الخرقة المضافة .

ولخفض نسبة الفوسفور فى الصلب الناتج فى حالة النفخ بالهواء المزود بالأكسجين يزال فى بعض الأحيان الخبث الابتدائى ، ( المتكون أولا ) ثم يتكون خبث جديد وتضاف الصودا ثم يستمر النفخ لمدة وجيزة ( حوالى ٢٥ ثانية ) وحتى نتلافى التبريد الشديد نتيجة لاضافة وتحلل الصودا نرفق هذه الصودا باضافات أخرى كالسليكو كالسيوم مثلا التى تمد المعدن بكمية وفيرة من الخرقة عند تأكسدها هذا الى جانب

ضبطها لقاعدية الخبث وذلك باتحاد السليكا المتكونة بأكسيد الكالسيوم .  
وقد يضبط الخبث بإضافة الصودا فقط إذا سمحت الحرارة بذلك .

وتصل نسبة الفوسفور الى حوالى ٠.٥٥٪ بالصلب قبل كشط  
الخبث الأصلي ثم تهبط هذه النسبة الى حوالى ٠.٤٠٪ بعد النفخ فى وجود  
الخبث الصودوى .

ويحتوى الخبث الثانوى على حوالى ١٥٪ من الحديد وهى نسبة عالية  
نسبياً ولكن يمكن التغاضى عن كمية الحديد الضائعة فى الخبث  
لضالة كميته .

وتحتل طريقة النفخ باستخدام الهواء المزود بالأكسجين المقام الأول  
فى وقتنا الحاضر للحصول على أجود أنواع الصلب فى محولات توماس  
وكقاعدة عامة فان نسبة الأكسجين فى الهواء المنفوخ تصل الى ٣٠٪ منه .  
وجداول (١٤) الآتى يعطينا فكرة عن نسبة النتروجين ،  
والفوسفور ، والكبريت فى الصلب استنادا الى طريقة النفخ ونوع  
الإضافات .

#### جدول (١٤)

كب	فو	ن ٢	
٠.٣٥	٠.٤٥	٠.١٢-٠.٠٩	النفخ بالهواء الجوى مع اضافة الخردة
٠.٣٥	٠.٤٥	٠.٠٨	النفخ بالهواء المزود بالأكسجين لغاية ٣٠٪ مع اضافة الخردة ، والحديد أو الحجر الجبرى
٠.٢٠	٠.٢٥	٠.٠٥	باستخدام الخبث الثانوى النفخ بخليط من الأكسجين والبخار
٠.٢٠	٠.٢٠	٠.٠٢٥	

#### طريقة النفخ بخليط من الأكسجين والبخار :

من الواضح أنه بتخفيض الضغط الجزئى للنتروجين فى الغازات  
داخل المحول الى أقل درجة ممكنة يقل ذوبانه فى الصلب ويمكن جعل  
ضغطه الجزئى صفراً بالتخلص منه نهائياً فى هواء النفخ ولكن يجب أن



لا يغيب عن خاطرنا استحالة النفخ بالأكسجين الخالص خلال قاع المحول لأنه في هذه الحالة يرتفع معدل استهلاك القاعدة وودنات الهواء ارتفاعا حادا ويرجع هذا الى الارتفاع الزائد في درجة الحرارة عندما يندفع الأكسجين من فوهات النفخ الى المعدن ولهذا السبب يجب اضافة بعض الغازات الأخرى التي لا تحتوى على النتروجين الطبيعى ، وحدينا يستخدم البخار وثاني أكسيد الكربون كمبردات في محولات توماس .

وعند استعمال مثل هذا الخليط من الغازات ( أكسجين + بخار ) فان حوالى ٣٠٪ من البخار يمر خلال المعدن دون أن يتحلل ولا يشترك بأى نصيب في عملية النفخ ( ولا يكون له أى دور يذكر في هذه العملية ) بيد أن ما يحمله من حرارة أثناء مغادرته المحول يعتبر الدور الوحيد الذى يقوم به اما ما تبقى من البخار ( حوالى ٧٠٪ منه ) فانه يتحلل الى عنصريه : الأكسجين والايدروجين مستهلكا لذلك طاقة حرارية هائلة .

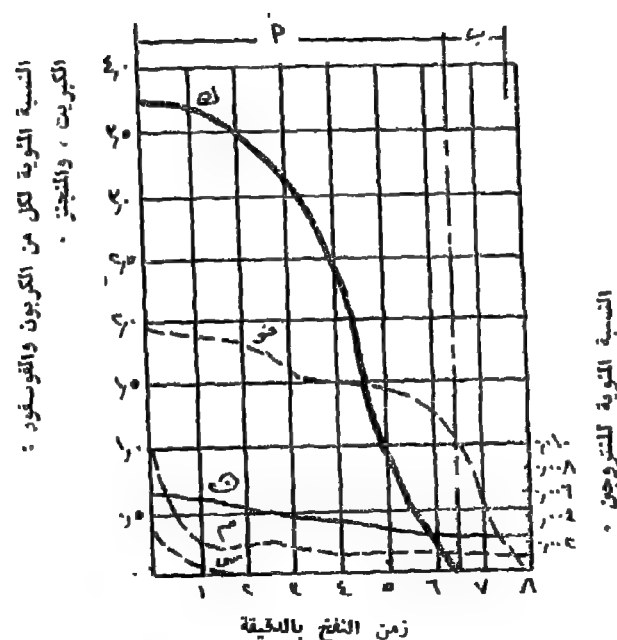
ولقد أثبتت الشواهد من وجهة النظر الحرارية أن ١ كجم من البخار تعادل من حيث تأثيرها فى التبريد وزنا من الخردة يقدر بحوالى ٦٨ كجم .

وتساوى حراريا خليط يحتوى على ٦٠٪ منه أكسجينا والباقي بخارا ساخنا مع النفخ واستنتاجا لما سبق فانه كلما كانت نسبة البخار فى الخليط أقل كلما أمكن صهر كمية من الخردة أكبر .

وتعتمد درجة امتصاص الصلب للنتروجين على درجة نقاء الأكسجين ونادرا ما تزيد عن ٨ - ١٠٪ وعليه فان نسبة النتروجين بالصلب المصنوع بهذه الطريقة تتغير فيما بين ٠.١٥ - ٠.٠٤٪ وبمعنى آخر فان هذه النسبة تكون أقل من تلك الموجودة فى حالة صلب الأفران المفتوحة .

ويبين شكل ( ٢٦ ) السخيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى للصلب أثناء نفخ الحديد بخليط من الأكسجين والبخار .

وقد وجد أنه أثناء فترة احتراق السليكون والمنجنيز تتم أيضا ازالة الفوسفور ولكن بدرجة أقل . وينتهى احتراق الكربون بعد حوالى ٦-٥ دقائق وعندئذ تبدأ عملية ازالة الفوسفور ويستمر النتروجين الذائب فى الصلب فى الانخفاض طيلة فترة النفخ كلها .



شكل (٢٦) : الفيرات التي تطرا على تركيب الحديد الزهر في محول توماس أثناء النفخ بخليط من الأكسجين والبخار .

١ - أكسدة الكربون      ب - إذالة الفوسفور

وباستعمال خليط من الأكسجين والبخار في النفخ مساويا  
١٢ : ١١ : ١٤ تتراوح نسبة النتروجين في الصلب ٠.٣٪ .

وفي هذه الطريقة تتم ازالة الفوسفور بنجاح وسرعة عما اذا  
استخدمنا الهواء أو الهواء المزود بالأكسجين في النفخ وتتغير مدة النفخ  
 باختلاف كمية الأكسجين الداخلة الى المحول في وحدة الزمن .

وبمقارنة الكفاءة الانتاجية لمحول سعة ١٦ طنا في الطرق الثلاث  
 نجد أن سعته في حالة النفخ في الهواء لا تزيد عن ١١ طنا / دقيقة بينما  
 تصل هذه السعة الى ١٥ طنا / دقيقة اذا كان النفخ بالهواء المزود  
 بالأكسجين ( استهلاك الأكسجين ٣٢٧ م<sup>٣</sup> / طن ) في حين تبلغ ١٩ طنا /  
 دقيقة اذا استعمل خليط الأكسجين والبخار في النفخ .

ومن ناحية الخواص الميكانيكية للصلب الناتج فلا نضع في حسابنا  
 أي خوف من تأثير الهيدروجين الضار عاينا ، فقد ثبت هذا عما بنا بما  
 لا يدع مكانا للشك ومما يشجع على اتباع هذه الطريقة ذلك الهواء الذي

يسيطر على النفاعلات طوال عملية النفخ فمهما ارتفعت نسبة السليكون في الحديد الزهر فلن يزيد ذلك من المقذوفات المتناثرة خارج المحول ويرجع هذا الى الصغر النسبى فى حجم وسرعة الغازات المارة خلال شحنة الحديد بالمحول .

كما يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من السليكون دون اجراء عملية الازالة مقدما قبل النفخ .

ويمكن تميز شعلة اللهب المتكونة فى حالة تطبيق هذه الطريقة عن تلك المتكونة فى الطريقة العادية باضاءتها الساطعة الناتجة عن احتراق الابدروجين واختفاء الأبخرة الداكنة المصاحبة لها .

ولا تقل درجة حرارة الغازات المتصاعدة عن ١٣٠٠ °م اذ تتراوح بين ١٢٠٠ - ١٥٠٠ °م وتتساوى قوة تحمل البطانة باستخدام هذه الطريقة مع تلك التى يستخدم فيها خليط الهواء والاكسجين ويمكن اطالة عمر القواعد المصنوعة من الدولوميت بتركيب قصبات من النحاس .

وبحساب الموازنة الحرارية بين كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب فى الحديد الزهر وكمية الحرارة المفقودة نجد أنه يكاد يكون مستحيلا استخدام الهواء فقط فى تحويل الحديد الزهر اذا كان منخفضا فى نسبة الفوسفور حتى يصل الى درجة الحرارة المناسبة لصب الصلب فى حين أنه لاتصادفنا أبة صعوبة فى تحويل نفس الحديد الزهر اذا استعملنا خليطا من الأكسجين والبخار بل يمكننا تحويل الحديد الزهر الذى له نفس المواصفات للحديد المستخدم فى الأفران المفتوحة .

ولقد ظلت تلك الدراسات مجرد أبحاث نظرية ثبت صحتها وتأكدت صلاحيتها حتى أتت الأبحاث العملية والتجارب الواقعية بالدليل القاطع وحسمت الموقف بما لا يدع مجالا للشك .

فلقد أصبح يقينا امكانية نفخ حديد زهر الأفران المفتوحة الذى يحتوى على ٧٨° - ١٤° فوسفورا ، ٧° - ١° سليكونا ، ٧-١١° منجنيزا وتصل نسبة الكبريت به الى ٠.٥° باستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ فى مصانع اناكيفر للحديد والصلب . ويصل استهلاك الجبر الذى يحتوى على حوالى ١٥° من وزنه جيرا غير تسام الاحتراق ( جبر جبرى ) الى ٣ - ٧.٧° من وزن الحديد الزهر بينما يكون استخدام الأكسجين واقح ٦٥ - ٨٠°م / ٣ دقيقة ( ٤٥ - ٦٠°م / ٣ طن ) ، ٣٠ - ٣٥ كجم / دقيقة من بخار الماء أى أن كمية الأكسجين المنفرد تتراوح بين ٦٥ - ٨٠° وزنا .

ويستحسن عند استخدام هذه الطريقة أن يبطن المحول بطوب الكرومجنزيت ويلزم لنفخ شحنة من الحديد الزهر زنتها ١٣٥ - ١٤٥ طنا مدة تتراوح بين ٦٣٨ - ١٢ دقيقة وفي حوالى ٥٠٪ من هذه الحالات تقل مدة النفخ عن ٨ دقائق .

ومما هو جدير بالذكر أن معدل تحول الحديد الزهر الى صلب يرتفع نسبيا باستخدام هذه الطريقة اذ يصل الى ١٢ - ٢١ طنا/دقيقة .

واذا كان لما أن نضع رقما عمليا لنسبة النتروجين الذائب فى الصلب المصنوع بهذه الطريقة فانه فى المتوسط لاتزيد هذه النسبة عن ٠.٢١٪ اذ تتراوح بين ٠.٠١ - ٠.٠٥٪ ويعنبر هذا الرقم قياسا ومثل هذا الصلب يحتوى على ٠.٢٨٪ من الأكسجين .

ويكون التركيب الكيميائى للخبث فى النهاية كما يأتى :

١١ - ١٢٪ ح أ ، ٢٧١ - ٥٧٨٪ ح ب ، ٦٨٦ - ٨٠٤٪ م أ ، ١٣٧ - ١٩٢٪ س أ ، ٣٢٩٨ - ٤٢٪ كا ، ٩٤ - ٢١٩٪ فو ٢ أ .

أما تحليل الغازات ( باستبعاد النتروجين ) فيكون كالآتى :

٣٦٪ ك أ ، ٧٧٪ ك ب ، ٢١٪ ك د ، ٣٣٪ كا ، ١٢٣٪ يد

وباستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ نحصل على الميزات الآتية :

- ١ - امكانية نفخ الحديد الزهر دون النظر الى نسبة الفوسفور به .
- ٢ - السعة الانتاجية للمحول تكون أكبر منها فى الطرق الأخرى .
- ٣ - تحتوى الغازات المتصاعدة على نسبة أقل من الأبخرة الداكنة . . . ولذا فهى لاتحتاج لأجهزة خاصة لتنقيتها .

٤ - بضاهى الصلب المصنوع بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواص ولاسيما فى قلة احتوائه على النتروجين .

أما عيوب هذه الطريقة فتتجلى فى ارتفاع نسبة الحديد الضائع فى الخبث كما أنه لايمكننا استغلال كمية كبيرة من الخردة هذا اذا قورنت بطريقة النفخ بالأكسجين الخالص من أعلى .

## النفخ بخليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون :

يضاف غاز ثاني أكسيد الكربون كعامل مبرد اذ يتطلب تحليل الكيلوجرام الجزيئي منه كمية من الخردة تعادل ٦٦٥٦٠ سعرا حتى يتحلل الى أول أكسيد الكربون والأكسجين أى أنه لتحلل ٣م١ من ثاني أكسيد الكربون يلزم له كمية من الحرارة تساوى

$$66560 \\ 3000 = \frac{\text{سعرا}}{224}$$

حيث : ٣م٢٢٤ = حجم الكيلوجرام الجزيئي من ثاني أكسيد الكربون .

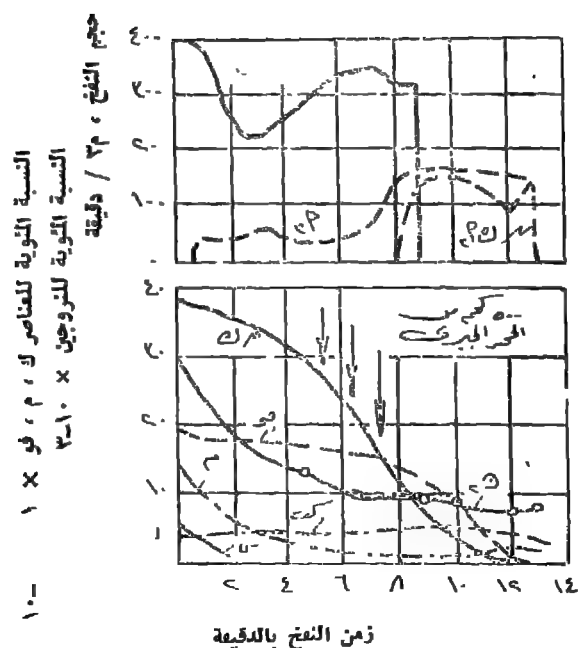
ولقد ثبت بالتجربة أن ٩٠٪ من ثاني أكسيد الكربون يتحلل باستعمال خليط منه والأكسجين فى النفخ ويفوق ثاني أكسيد الكربون البخار من ناحية التبريد وقد افترض أن ٣م١ من ثاني أكسيد الكربون يكافئ ٩٢٠ كجم من الخردة فى تأثيره المبرد .

وفى العادة يستعمل ذلك فى فترات النفخ الأولى ثم عند نهاية الفترة التى يتأكسد فيها الكربون يصير النفخ بخليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون . ويمكن ضبط درجات الحرارة والسيطرة عليها بالتحكم فى كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المندفعة الى المحول عند ثبوت معدل الأكسجين المنفوخ فى الخليط .

ويلاحظ أن شعلة اللهب عند فوهة المحول تكون ساطعة الاضاءه جدا لارتفاع نسبة غاز أول أكسيد الكربون اذ تبلغ نسبته فى الغازات المتصاعدة ٥٥٪ وتقل نسبة النتروجين فى الصلب الى ٠.٣٪ .

ويبين شكل (٢٧) طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون . ويكون النفخ خلال ثمانى الدقائق الأولى بخليط من الهواء والأكسجين وبعد ذلك حتى النهاية يكون النفخ بخليط من الأكسجين ، ك٢١ بنسبة ١ : ١ الى ١ : ١٤ .

وسوف نتناول بالشرح والتحليل فيما بعد طريقة النفخ بالأكسجين الخالص للحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور .



شكل (٢٧) : يوضح طريقة النفخ في معول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وناتى أكسيد الكربون .

#### ١٠ - خواص واستعمالات صلب توماس

أصبح ميدان استخدام صلب توماس الذى ينتج بالطرق العادية محدودا وبالرغم من هذا فانه من الممكن استخدامه بنجاح فى صناعة الأدوات الحديدية التى تتطلب لدونة عالية ومقاومة كبيرة للتآكل وقابلية كبيرة للتشغيل .

ويمكن لحام هذا النوع من الصلب بواسطة اللحام التراكبى ولهذا فهو يستخدم بكثرة فى صناعة الشرائح اللازمة لصناعة الانابيب الملحومة .

ويستخدم هذا الصلب أيضا فى صناعة القطاعات الجانبية للمنشآت كما يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح التى يجرى تشكيلها على البارد ، والقضبان ، والأسلاك وغيرها من المنتجات الأخرى .

وباستخدام الأكسجين فى صناعة صلب توماس أصبح منافسا لصلب الأفران المفتوحة فى الخواص والجودة ويمكن استخدامه على نطاق واسع فى كثير من المجالات الصناعية فمثلا لا يختلف عن الصلب القوار

المصنوع في المحولات دنفخ الحديد الزهر بخليلع من الهواء والأكسجين ويخار الماء في جوده عن الصلب الفوار المصنوع في الأفران المفتوحة ولذلك فهو يستخدم في صناعة الألواح والصفائح والألواح اللازمة لعمليات التشكيل المخلنه كالسفن والدرفلة الى سرائط سواء بطرق الدرفلة على الساخن أو على البارد .

كما يدخل في عمل الأنابيب - والأسلاك والمسامير وغيرها . . .  
وينفرد هذا النوع من الصلب ببعض المزايا فمثلا يمكننا سحب أعواد الصلب التي قطرها ٥ مم الى أسلاك رفيعة يبلغ قطرها ٣٠ر - ١٩ر مم دون حاجة الى اجراء عملية للدين متوسطة بينما نضطر الى اجراء هذه العملية اضطرارا عند استخدام صلب الأفران المفتوحة في عمل هذه الأسلاك .

وتمتاز المنتجات المصنوعة من هذا النوع من الصلب بخلوها من أى شقوق أو عيوب منسابة تحط من جودتها .

وباجراء اختبارات السنى والقابلية للحام على هذا الصلب كانت النتائج طيبة ومرضيه وعلى وجه العموم فإنه بتطبيق الطرق الحديثة في صناعة صلب توماس تحسنت جودته بدرجة ملحوظة واتسع مجال استعماله في حياتنا العملية الى حد كبير .

## ١١ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس

### أولا : الموازنة المادية

يوضح الجدول الآتى البيانات اللازمة لحساب الشحنة :

جدول ( ١٥ )

العناصر %					
ك	س	م	فو	كب	
٣٣٥ر	٣٠ر	١	٢	٧ر	الحديد الزهر
٥ر	-	٢ر	٠٠٦	٥ر	الصلب الناتج
٣ ٣ر	٣٠ر	٨ر	١٩٤	٢ر	كمية العناصر المؤكسدة

هذا بفرض أن ( ١ ) % الكربون قد تحول الى ثانى أكسيد الكربون والباقي ( ٣ % الكربون ) قد تحول الى أول أكسيد الكربون .

٢ - الفاعد من الحديد ٢ %

٣ - اشترك ٢ % من وزن بطانة المحول لتكوين الخبت

٤ - التركيب الكيميائي للدولوميت :

مغ أ	كا أ	لو ٢	س أ
٣٦٥ %	٥٩ %	٢ %	٢٥ %

٥ - التركيب الكيميائي للجير الحى ( أكسيد الكالسيوم )

ك أ	كا أ	لو ٢	س أ
٤ %	٩٣ %	١ %	٢ %

هذا مع العلم بأن الكبريت قد أزيل على شكل كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم ( حوالى ٠.٢ % من الكبريت قد أزيل )

إذا / كمية المنجنيز التى ترتبط بكمية الكبريت الموجودة لتكوين كبريتيد المنجنيز :

$$= \frac{٥٥ \times ٠.٢}{٣٢} = ٠.٣٤ \text{ ر } \% \text{ من المنجنيز}$$

أما باقى المنجنيز الذى تأكسد = ٨ ر - ٠.٣٤ = ٧.٦٦ ر %

ولسهولة العمليات الحسابية نعبر ١٠٠ كجم من الشحنة :

حساب الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب والأكاسيد الناتجة :

وزن الكربون الذى تأكسد الى ثانى أكسيد الكربون =

$$٢٥ \times ٣٣ = ٨٢٥ \text{ ر كجم}$$

وزن الكربون الذى يتأكسد الى أول أكسيد الكربون =

$$٧٥ \times ٣٣ = ٢٤٧٥ \text{ ر كجم}$$

والجدول الآتى يوضح كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب

المختلفة :



جدول ( ١٦ )

وزن الأكاسيد الناتجة كجم	الأكسجين المطلوب / كجم	المركبات	وزن السمواتب المطلوب ازالتها
٢٠٢٥	$٢٢ = \frac{٢٢}{١٢} \times ٨٢٥$	ك ٢ أ	ك ٠٨٢٥
٥٧٧٥	$٣٣ = \frac{١٦}{١٢} \times ٢٤٧٥$	ك ٢ أ	ك ٢٤٧٥
٠٦٤٠	$٣٤ = \frac{٢٢}{٢٨} \times ٣$	س ٢ أ	س ٠٣
٤٤٤٠	$٢٥ = \frac{٨٠}{٦٢} \times ١٩٤$	ف ٢ أ هـ	فو ١٩٤
٠٩٨٦	$٢٢ = \frac{١٦}{٥٥} \times ٧٦٦$	أ م	م ٧٦٦
٠٠٥٤	—	ك م	م ٠٣٤
٢ ٥٧	$٥٧ = \frac{١٦}{٥٦} \times ٢٠$	ح أ	ح ٢٠٠
	٩١٣	المعاد أثناء النسخ ٨٣٤ =	

ولتبسيط العمليات الحسابية التالية ، دعنا نتفاضى عن كمية الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ، ولنفرض تركيب الهواء وزنا كالاتى : -

$$٢٣٣٢\% \text{ أ } ٢ ، ٧٦٨\% \text{ ن } ٢$$

$$\text{إذا / كمية الهواء اللازمة لأكسدة الشوائب} = \frac{٩١٣}{٢٣٣} = ٣٩٣٥ \text{ كجم}$$

$$\text{وساوى أيضا} = \frac{٣٩٣٥}{١٢٩} = ٣٠٥ \text{ م } ٣$$

وذلك لكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

إذا / نظريا يلزم لكل طن من الحديد الزهر ٣٠٥ م ٣ من الأكسجين

$$= ٣٠٥ \times \frac{١٠٠}{١٠٠} = ٣٣٠٥$$

ومن الواضح أن كل ٣٩٣٥ كجم من الهواء نحتوى على ٩١٣ كجم أكسجين ، ٣٠٣٢ كجم نيتروجينا فيمكننا حساب وزن الهواء النفخ كما يأتى : -

$$\begin{aligned} & ١ \text{ م } ٣ \text{ من هواء النفخ يصبح محنويا على } ٣٠\% \text{ أ } ٢ ، ٧٠\% \text{ ن } ٢ \\ & \text{ويصبح وزن الأكسجين} = ( ٣٠ \times ١٢٤٣ + ٧٠ \times ١٢٥ ) \\ & = ١٣ \text{ كجم} \end{aligned}$$

$$\text{فى هذا الخليط} = \frac{٣٠ \times ١٢٤٣}{١٣} \times ١٠٠ = ٣٣\%$$

إذا / كمية الخليط من الهواء والأكسجين المطلوب

$$= \frac{٩١٣}{٣٣} = ٢٧٧ \text{ كجم}$$

$$= \frac{٢٧٧}{١٣} = ٢١٣ \text{ م } ٣$$

( = ٢١٣ م ٣ لكل طن من الحديد الزهر )

ويحتوى ٢٧٧ كجم من هواء النفخ المزود بالأكسجين على ٩١٣ كجم من الأكسجين ، ١٨٥٧ كجم من النيتروجين أى أقل بكثير من حالة الهواء المنفوخ فقط .

وفى حالة النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يحتوى على ٦٠\%

وزنا من الأكسجين ذى نقاوة نصل الى ٩٢٪ ، ٤٠٪ بخار ماء فان ١ كجم  
من هذا الخليط تحنوى على : -

$$٠.١ ( ٦٠ \times ٩٢ + ٧ \times \frac{١٦}{١٨} ) = ٨ \text{ كجم أكسجين}$$

وهذا يفرض أن ٧٠٪ من بخار الماء ينحلل الى عنصريه .

$$\frac{١٨}{١٦} = \text{نسبة وزن الأكسجين فى بخار الماء}$$

وفى هذه الحالة تكون نتيجه التحليل ٠.٣ كجم من الهيدروجين لكل  
كجم من الخليط .  
إذا / وزن خليط الأكسجين وبخار الماء اللازم لتكوين ٩٣١ كجم  
من الأكسجين : -

$$= \frac{٩١٣}{٨} = ١١٤ \text{ كجم}$$

ويكون فى النهاية لدينا التحليل الآتى :

أكسجين	٩١٣ كجم
بخار ماء لم يتحلل	١٣٧ كجم
هيدروجين	٣٤ كجم
نيتروجين	٥٦ كجم

وبيلغ وزن المتر المكعب من خليط الأكسجين وبخار الماء ١١٢ كجم  
ويمكن التوصل الى هذه النتيجة كما يلى : -  
١٠٠ كجم من الخليط تشغل حجما قدره

$$٣٨٨٨٤ \text{ م}^٣ = \frac{٤٠}{٨٠٤} + \frac{٨}{١٢٥} + \frac{٥٥٢}{١٤٣}$$

حيث :

١٤٣	= وزن	١ م	٣ من الأكسجين
١٢٥	= وزن	١ م	٣ من النيتروجين
٨٠٤	= وزن	١ م	٣ من بخار الماء

$$\text{إذا / كثافة الخليط} = \frac{٨٨٨٤}{١٠٠} = ١١٢ \text{ كجم / م}^٣$$

$$\text{إذا / حجم الخليط المطلوب} = \frac{١١٤}{١١٢} = ١.٠٢ \text{ م}^٣$$

أى أن ١.٠٢ م<sup>٣</sup> هو الحيز الذى يشغله ١ طن من الخليط

## تعيين التركيب الكيميائي للخبث

يحتوى الخبث على ٢ % سليكا  
نسبة أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين المركب =  
٢ كا ١ س ٢

$$= ٠.٢ \times \frac{١١٢}{٦٠} \times ١٠٠ = ٣٧٤ \%$$

نسبة كا ١ المنفردة فى الجير = ٩٣ - ٣٧٤ = ٨٩٢٦ %  
إذا / وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بالسليكا وخامس  
أكسيد الفوسفور اللازم أيضا لعملية ازالة الكبريت  
اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين ٢ كا ١ س ٢ =

$$= \frac{١١٢ \times ٦٤}{٦٠} = ١٢٠ \text{ كجم}$$

اللازمة للاتحاد بخامس أكسيد الفوسفور ٤ كا ١ ، فو ٥ ١ ٢ =

$$= \frac{٢٢٤ \times ٤٤}{١٤٢} = ٧ \text{ كجم}$$

اللازمة للاتحاد بالكبريت كا ٢ =  $\frac{٠.٢ \times ٥٦}{٣٢} = ٠.٣٥ \text{ ر كجم}$

الوزن الكلى ٨٢٣٥ كجم

$$\text{إذا / وزن الجير اللازم} = \frac{٨٢٣٥}{٨٩٢٦} = ٩٠.٢٢ \text{ كجم}$$

ولكن الجير يحتوى على شوائب أخرى يمكن حساب أوزانها كما  
يأتى :

$$\text{وزن السليكا} = ٩٢٢ \times ٠.٢ = ١٨٤.٠ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن الألومينا} = ٩٢٢ \times ٠.١ = ٩٢.٠ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن أكسيد الكالسيوم} = ٩٢٢ \times ٩٣ = ٨٥٧٤ \text{ كجم}$$

ويكون نصيب بطاقة المحول فى الاشتراك فى انتاج مثل هذه

الشوائب كالاتى :

$$\text{وزن السليكا} = ٢ \times ٠.٢٥ = ٠.٥ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن الألومينا} = ٢ \times ٠.٢ = ٠.٤ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن أكسيد الكالسيوم} = ٥٩ \times ٢ = ١١٨ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن الماغنسيوم} = ٣٦٥ \times ٢ = ٧٣٠ \text{ كجم}$$

ويمكن تنسيق ما سبق فى جدول كالاتى :

جدول ( ١٧ )

النسبة المئوية	الوزن الكلي	وزن المكونات من بطانة المحول / كجم	وزن المكونات من أكسيد الكالسيوم كجم	وزن المكونات نتيجة أكسدة الشوائب	المكونات
٥٨٧٤	٨٧٤ ر	٥٠ ر	١٨٤ ر	٦٤ ر	٢١ س
٦٦	١٣٢ ر	٠٤ ر	٠٩٢ ر	—	٣١٢ لو
٥٠	٩٧٥٤ ر	١١٨ ر	٨٥٧٤ ر	—	١ كا
٣٧٤	٧٣ ر	٧٣ ر	—	—	١ مع
٢٢٧٥	٤٤ ر	—	—	٤٤ ر	٢ قو
٥٠٥	٩٨٦ ر	—	—	٩٨٦ ر	١ م
١٣٢	٥٧ ر	—	—	٥٧ ر	١ ح
٠١	٠٢ ر	—	—	٠٢ ر	١ كب
٪١٠٠	١٩٥٠٦	المجموع الكلي			

### تركيب الغازات

هواء النفخ ك أ ٢ ٣٠٢٥ كجم

من الحجر الجيري :

$$\text{ك أ} = ٢٠١ = ٩٢٢ \times ٤ \times ٣٧ = ٣٧ \text{ كجم}$$

ثاني أكسيد الكربون الكلي

$$= ٣٣٩٥ \text{ كجم} = \frac{٢٢٤ \times ٣٣٩٥}{٤٤} = ١٧٣ \text{ م} ٣ ١٥٦٦٠٠٠٠ \%$$

$$\text{ك أ} = ٥٧٧٥ \text{ كجم} = \frac{٢٢٤ \times ٥٧٧٥}{٢٨} = ٤٦٢ \text{ م} ٣ ١٥١٤٠٠٠٠ \%$$

$$\text{ن} = ٣٠٢٢ = ٣٠٢٢ \text{ كجم} = \frac{٢٢٤ \times ٣٠٢٢}{١٨} = ٣٢٤٢ \text{ م} ٣ ٧٩٢٠٠٠٠ \%$$

المجموع ٣٩٣٩ كجم ٣٠٥٥ م ٣ ١٠٠

وعندما تكون درجة تزويد الهواء بالأكسجين مساوية ٣٠٪ يصبح

تركيب الغازات كما يلي : -

$$\text{ك أ} = ٣٣٩٥ = ١٧٣ \text{ م} ٣ ٨٢٠٠٠٠ \%$$

$$\text{ك أ} = ٥٧٧٥ = ٤٦٢ \text{ م} ٣ ٢١٨٠٠٠٠ \%$$

$$\text{ن} = ١٨٥٧ = ١٤٨ \text{ م} ٣ ٧٠٠٠٠٠٠ \%$$

المجموع ٢٧٧٤ كجم ٢١١٥ م ٣ ١٠٠

وفى حالة تزويد هواء النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يصبح

تركيب الغازات الناتجة : -

$$\text{ك أ} = ٣٣٩٥ = ١٧٣ \text{ م} ٣ ١٤ \%$$

$$\text{ك أ} = ٥٧٧٥ = ٤٦٢ \text{ م} ٣ ٣٧٧ \%$$

$$\text{يد} = ١٣٧ = ١٧ \text{ م} ٣ ١٣٨ \%$$

$$\text{يد} = ٣٤ = ٣٨ \text{ م} ٣ ٣٠٨ \%$$

$$\text{ن} = ٥٦ = ٤٥ \text{ م} ٣ ٣٧ \%$$

المجموع ١١٤٤ كجم ١٢٣ م ٣ ١٠٠

ويمكننا وضع الموازنة المادية فى جدول للسهولة والتوضيح

جول ( ١٨ )

النواتج				الشحنة			
هواء + أكسجين + بخار ماء	هواء + أكسجين	هواء		هواء + أكسجين + بخار ماء	هواء + أكسجين	هواء	
٩٠٢٦٦ ١١٢٤٤ ١٩٥٥١ ١	٩٠٢٦٦ ٢٧٧٧٤ ١٩٥٥١ ١	٩٠٢٦٦ ٣٩٢٣٩ ١٩٥٥١ ١	صليب غازات خشب المقذوفات الحديدية القروك	١٠٠ ١١٢٤ ٩٢٢ ٢	١٠٠ ٢٧٧٧ ٩٢٢ ٢	١٠٠ ٣٩٢٣٥ ٩٢٢ ٢	حديد زهر هواء النفتح الجبر البطانة
٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١					
١٢٢٢٦٢	١٣٨٩٩٢	١٥٠.٥٧		١٢٢٢٦٢	١٣٨٩٩٢	١٥٠.٥٧	

وقد وجد عمليا أنه أثناء صـناعة الصلب يفقد منه ٨٣٤ كجم كمقدوفات حديدية ، ١ كجم كـصلب ضائع فى الخبث اى أن الناتج = ١٠٠ - ٨٣٤ - ١ = ٩٠٦٦ كجم

## ثانيا : الموازنة الحرارية

### أولا الحرارة الداخلة الى المحول

$$١ - الحرارة المحتواة فى الحديد الزهر = ١٠٠ ( ٠.١٧٨ ) \times ١١٣٠ + ٥٢ + ٠.٢٦ ( ١٢٣٠ - ١١٣٠ ) = ٢٧٨٠٠ سعرا$$

حيث : ١١٣٠ = درجة انصهار الحديد الزهر القاعدة ٥ م  
٠.١٧٨ = السعة الحرارية للحديد الزهر قبل الانصهار سعرا / كجم ٥ م

$$\begin{aligned} ٥٢ &= الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم \\ ٠.٢٦ &= السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر سعرا / كجم ٥ م \\ ١٢٣٠ &= درجة حرارة الحديد الزهر المشحون بالمحول ٥ م \end{aligned}$$

٢ - الحرارة المحتواة فى هواء النفخ :

( درجة حرارة هواء النح = ٥٠٠ م

$$= ٢٧٧ \times ٠.٢٣٣ \times ٥٠ = ٣٢٢ سعرا$$

وعندما يكون النفخ بالهواء المزود بخليط من الأكسجين وبخار الماء عند درجة ١٨٠ - ٢٠٠ م ( الوزن الكلى للخليط ١١٤ كجم ، يحتوى على : ٠.٦ \times ١١٤ = ٦٨٤ كجم من الأكسجين ، ٤٥٦ كجم من الأكسجين تحتوى على ٩٢ / فقط من الأكسجين النقى = ٦٨٤ = ٦٨٤ \times ٩٢ = ٦٢٨ كجم اكسجين ، ٥٦ ر كجم نتروجينا .

٤٥٦ كجم من بخار الماء يتحلل منها ٧٠ / أى وزن بخار الماء المتحلل = ٣١٩ كجم وهذه الكمية تعطى مقدارا من الأكسجين يساوى :

$$\frac{٣١٩ \times ١٦}{١٨} = ٢٨٥ كجم أ ٢ ، ٠.٣٤ كجم من الايدروجين$$

ونتيجة لهذا تتكون عندنا الكمية المطلوبة من الأكسجين والنتى تساوى

$$٦٢٨ + ٢٨٥ = ٩١٣ كجم أ$$

السعة الحرارية = ٢٠٠ ( ٦٢٨ \times ٠.٢٢٣ + ٥٦ \times ٢٤٩ +

$$٤٥٦ \times ٧٢٠ = ٧٢٠ سعرا$$



حيث  $٠.٢٢٣$  = السعة الحرارية للأكسجين عند  $٢٠٠٠^\circ \text{م}$  سعرا / كجم  $٥٠$

$٠.٢٤٩$  = السعة الحرارية للنتروجين عند  $٢٠٠^\circ \text{م}$  سعرا / كجم  $٥٠$

$٠.٤٥٢$  = السعة الحرارية لبخار الماء عند  $٢٠٠^\circ \text{م}$  سعرا / كجم  $٥٠$

٣ - الحرارة المتولدة من تأكسد الكربون الى أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون

$$= ٨٢٥ \times ٨١٣٧ + ٢٤٥٢ \times ١٢٧٦٥ = ١٢٧٦٥ \text{ سعرا}$$

٤ - الحرارة الناتجة عن تأكسد ونخبث السليكون الى  $\text{SiO}_2$

$$= ٧٤٢٨ \times ٠.٣ = ٢٢٢٧ \text{ سعرا}$$

٥ - الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الفوسفور الى  $(\text{P}_2\text{O}_5)$

٤ فو ٢

$$= ٨٥٥٥ \times ١٩٩٤ = ١٦٦٠٠ \text{ سعرا}$$

٦ - الحرارة الناتجة عن أكسدة المنجنيز :

$$= ١٧٥٨ \times ٠.٧٦٦ = ١٣٤٧ \text{ سعرا}$$

الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد

$$= ١١٩١ \times ٢ = ٢٣٨٢ \text{ سعرا}$$

### ثانيا الحرارة الخارجة من المحول

١ - الحرارة المحتواة في الصلب

$$= ٩٠.٦٦ (١٦٧ + ٦٥ + ١٥٠٠ \times ٢) (١٦٥٠ - ١٥٠٠)$$

$$= ٣١٢٧٨ \text{ سعرا}$$

حيث :  $١٦٧$  = السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار

سعرا / كجم  $٥٠$

$$١٥٠٠ = \text{نقطة انصهار الصلب } ٥٠$$

$$٦٥ = \text{الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم}$$

$$٠.٢ = \text{السعة الحرارية للصلب المنصهر سعرا / كجم } ٥٠$$

$$١٦٥٠ = \text{درجة الحرارة للصلب الناتج } ٥٠$$

٢ - الحرارة المحتواة في الخبث

$$= ١٩٥٠٦ \times (٠.٢٩٤ \times ١٦٥٠ + ٥٠) = ١٠٤٥٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{حيث } ٠.٢٩٤ = \text{السعة الحرارية للخبث سعرا / كجم } ٥٠$$

$$٥٠ = \text{الحرارة الكامنة للانصهار سعر / كجم}$$

٣ - كمية الحرارة التي تحملها الغازات المساعدة من المحول عند  
١٤٠٠ م ( النفخ بالهواء )

$$\text{ك أ } ٢١٧٣ \times ٥٣٤ \times ١٤٠٠ = ١٢٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ٤٦٢ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢٤٢ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ١١١٤٧ \text{ سعرا}$$

المجموع ١٤٥٦٧ سعرا

( النفخ بالهواء والأكسجين ) :

$$\text{ك أ } ٢١٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢١٤٨ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ١٢٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢١٤٨ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ \text{ سعرا}$$

المجموع ١٠٢٢٠ سعرا

باستخدام خليط من الأكسجين والبخار مع الهواء :

ثاني أكسيد الكربون ١٢٩٠ سعر

أول أكسيد الكربون ٢١٣٠ سعر

$$\text{ن } ٢٠٤٥ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٢٠٦$$

$$\text{يد } ٢١ \times ١٧٠٠ \times ٠٤٣٤ = ١٠٣٠ \text{ كالورى}$$

$$\text{يد } ٢ \times ٣٨٠٠ \times ١٤٠٠ = ١٧٥٠ \text{ كالورى}$$

ويكون تحليل حرارة البخار :

$$٢٨٩٥٠ \times ٠٣٤ = ٩٨٤٠ \text{ كالورى}$$

ويوضح جدول ( ١٩ ) الاتزان الحرارى وتكون الفواقد نتيجة  
الاشعاع وتحلل الجير تحت الاحتراق وبعض كميات معملية أخرى حتى  
٥ ٪ . يستخدم لاختلاف لايجاد الحرارة الفائضة التى يمكن استخدامها  
فى صهر الخرقة .

وتكون الفواقد الكبيرة مع غازات المحولات الهاربة والموجودة مع  
الهواء اللافح .

ويكون التأثير الحرارى على الحمام نتيجة خليط من ٦٠ / - ٩٠ ٪  
أكسجين نقى ، ٤٠ ٪ أبخرة مختلفة ولكن قليلا من الهواء اللافح - وأقصى  
كمية من الخرقة يمكن صهرها مع الهواء اللافح الفتى بالأكسجين لا تتعدى  
٣٠ ٪ .

الحرارة المدخلة  
جول ( ١٩ )

بخار الماء والأكسجين في الهواء اللائح		الهواء اللائح الغني بالأكسجين		الهواء اللائح		الاستهلاك
%	كالوري	%	كالوري	%	كالوري	
٢٦	٢٧٨٠٠	٤٣٩	٢٧٨٠٠	٤٣٧	٢٧٨٠٠	حرارة انصهار الحديد الزهر حرارة الهواء اللائح حرارة أكسدة الكربون أكسدة وتخليخ السليكون أكسدة وتخليخ الفوسفور أكسدة المنجنيز أكسدة الحديد
١١	٧٢٠	٠٥	٢٢٢	٠٧	٤٥٨	
٢٠	١٢٧٦٥	٢٠٢	١٢٧٦٥	٢٠١	١٢٧٦٥	
٣٥	٢٢٢٧	٣٥	٢٢٢٧	٣٥	٢٢٢٧	
٢٦٢	١٦٦٠٠	٢٦٢	١٦٦٠٠	٢٦٢	١٦٦٠٠	
٢١	١٣٤٧	٢١	١٣٤٧	٢١	١٣٤٧	
٣٧	٢٣٨٢	٣٦	٢٣٨٢	٣٧	٢٣٨٢	
١٠٠	٦٣٨٤١	١٠٠	٦٣٤٤٣	١٠٠	٦٣٥٧٩	

الحرارة المتصاعدة  
جول ( ١٩ ) ملحق

بخار الماء والأكسجين في الهواء اللافتح		الهواء اللافتح الغني بالأكسجين		الهواء اللافتح		الاستهلاك
%	كالورى	%	كالورى	%	كالورى	
٤٩.٠	٣١٣٧٨	٤٩.٤	٣١٣٧٨	٤٩.٢	٣١٣٧٨	حرارة اضمحلال الصليب حرارة الحطب حرارة الغازات تحلل بخار الماء الاشعاع والنفو اقد الحرارية الافخرى الحرارة الفائضة المستخدمة لتصير الخردة
١٦.٤	١٠٠٤٥٠	١٦.٥	١٠٠٤٥٠	١٦.٤	١٠٠٤٥٠	
١٠.٠	٦٤٠٦	١٦.١	١٠٠٢٢٠	٢٢.٩	١٤٥٦٧	
١٥.٤	٩٨٤٠	-	-	-	-	
٥.٠	٣١١٩٢	٥.٠	٣١١٧٢	٥.٠	٣١١٧٩	
٤.٢	٢٦٧٥	١٣.٠	٨٣٢٣	٦.٥	٤١٠٥	
١٠٠.٠	٦٣٨٨١	١٠٠.٠	٦٣٤٤٣	١٠٠.٠	٦٣٥٧٩	

## الفصل السادس

### الطريقة العالوية للنفخ فى المحولات

مما لا شك فيه أن أهم ما يعيب صلب المحولات المصنوع بطريقه النفخ السلفيه بالهواء هو الفصافه الزائده خاصه عند درجات الحراره المنخفضة . . كما أن ميل هذا الصلب يعطى ميلا واضحا لظاهرة الأزمان ( الانخفاض فى بحمله للصدمات ) أثناء فترة استخدامه ونشغله وقابليه ضعيفه للحام بالكهرباء .

والسبب الرئيسى لظهور ميل هذه العيوب هو ارتفاع نسبة النروجين والأكسجين والفوسفور وكثير من الشوائب غير المعدية اذا قورن هذا الصلب بصلب الأفران المفتوحة .

والى جانب هذا فان محول بسمر ذا البطانة الحامضيه يمكن استخدامه لنفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت والفوسفور بينما يجب أن يحتوى الحديد الزهر النوماسى على نسبة عالية من الفوسفور .

وفى كلتا الطريقتين فانه يلزم لنا تركيب كيميائى خاص ومحدود للمواد الخام الأمر الذى يضع استغلال الخامات والمواد الأولية اللازمة لهذه الصناعة فى أضيق الحدود .

وباستخدام الأكسجين الخالص لنفخ الحديد الزهر من أعلى المحول أصبح فى الامكان الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من النروجين ، الأكسجين ، ويتم النفخ فى محول قاعدى البطانة ذى قاعدة صماء .

ولقد أصبح من المسلم به أن الصلب الناتج بهذه الطريقة لا يقل فى جودته بأى حال من الأحوال عن نظيره المصنوع فى الأفران المفتوحة .

## ١ - المبادئ الأساسية لطريقة النفخ العلوية

في هذه الطريقة نصب شحنة الحديد الزهر في محول ذي قاعدة صماء. ثم تضاف كمية الجبر اللازمة وخام الحديد بعد ذلك يوجه نيار الأكسجين على سطح المعدن خلال ودنات تبرد بالماء ( مائية التبريد ) ذات فوهات نحاسية .

ويضبط وضع الفوهات على ارتفاع محدد من سطح المعدن ثم يسيلط على المعدن تيار الأكسجين الذي تبلغ درجة نقائه أكثر من ٩٩٪ وتحت ضغط حوالى ١٠ - ١٤ ضغطا جويا ( مقيسا بجهاز الضغط ) .

وتتوقف كمية الأكسجين على شحنة الحديد بالمحول وأيضا على حجم وشكل الفوهات المستخدمة فمثلا لنفخ ٢٥٥ طنا من الحديد الزهر يوجه تيار الأكسجين بمعدل ٦٥ - ٨٠ م<sup>٣</sup> فى الدقيقة خلال فوهة دائرية قطرها ٤٢ مم .

وإذا كان وزن الشحنة ٣٧ طنا كانت كمية الأكسجين المطلوبة بين ١٤٠ - ١٦٠ م<sup>٣</sup>/دقيقة .

ويتغير معدل سريان الأكسجين تبعا لتغير فترة وطبيعة الحرارة .

وفى خلال عملية النفخ يتخلل تيار الأكسجين طبقات المعدن وتتكون منطقة للتفاعلات ( شكل ٢٨ - أ ) حيث ترتفع درجة الحرارة فيها الى حوالى ٢٤٠٠ م<sup>°</sup> وتعرض جزيئات المعدن للأكسجين فى منطقة التفاعلات فتتأكسد مباشرة عن آخرها ويكون نتيجة لتأكسد الحديد والشوائب الأخرى الموجودة بالحديد الزهر تكون : ح أ ، س أ ، م أ ، فو أ ، ك أ ولاكاسيد الحديد المتكونة قدرة كبيرة على الحركة بسرعة مما يساعد على أكسدة الشوائب الموجودة فى المناطق الموجودة بجانب منطقة التفاعلات .

وباستمرار تدفق نيار الأكسجين وانبعثات كمية كبيرة من غاز أول أكسيد الكربون تتحرك أكاسيد الحديد بسرعة خلال المعدن ويؤدى هذا الى خلط كمية الشحنة وتجانسها جيدا .

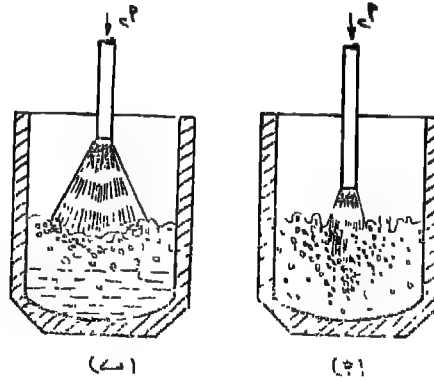
وإذا احتوى الحديد الزهر على ٣٥٪ كربونا يتصاعد ١٨٠ حجما من أول أكسيد الكربون عند ١٥٠٠ م لكل حجم من الأكسجين المنفوخ عند الصفر المئوى .

وفى طريقة النفخ العلوية تتأكسد الشوائب الموجودة بالحديد الزهر اما مباشرة بالأكسجين أو خلال الخبث ويمكن التحكم فى النسبة بين

الطريقتين ( طريقة التأكسد المباشر وغير المباشر ) بغير معدل سريان الأكسجين فكلما زاد سريان الأكسجين واقتربت ودنات النفخ من سطح المعدن زاد اختراق تيار الأكسجين لطبقاته وكانت التفاعلات التي تتم بالأكسدة المباشرة أكثر نشاطاً . وعندما ينخفض معدل تدفق الأكسجين ونضبط ودنات النفخ عالياً فوق سطح المعدن نصبح منطقة التفاعلات ضحلة ( شكل ٢٨ ) وتفاعلات الأكسدة عند السطح أكبر بسبب تشتت الأكسجين على مساحة كبيرة من سطح المعدن وفي هذه الحالة نزيد أكاسيد الحديد في الخبث ويصبح الخبث عندئذ سبباً لتفاعلات الأكسدة غير المباشرة .

وبضبط معدل تدفق الأكسجين وارتفاع ودنات النفخ يمكننا التحكم في كمية أكاسيد الحديد بالخبث الذي يحتوى على أكسيد الحديدوز .  
وتكوين خبث الجير الحديدي في بادى العملية يساعد كثيراً على إزالة الفوسفور بفض النظر عن كمية الكربون الذي يحتويها المعدن وفي هذه الطريقة يتأكسد الفوسفور في نفس الوقت الذي يتأكسد فيه الكربون .

ولما كان النفخ بالأكسجين الخالص فان غازات المحول المتصاعدة لا تحتوى بالمرّة على أى نتروجين ولهذا السبب تقل كمية الحرارة المفقودة في هذه الطريقة عن تلك المفقودة في طريقة بسمر وتوماس وينتفع بكمية الحرارة الزائدة في صهر كمية من الخرّدة أو اختزال مقدار من خام الحديد .



شكل (٢٨) : بين منطقة التفاعلات في حالته

١ - قصبّة دفع الأكسجين في وضع معتاد عن سطح المعدن

ب قصبّة دفع الأكسجين في وضع مرتفع عن سطح المعدن

كما سبق بمكنا بفخ الحديد الزهر الخالص بالأفران المفتوحة والبارد كيميائيا . وتقدم لنا طريقة النفخ العلوية للحديد الزهر بالأكسجين الخالص المزاي الآتية :

١ - بساطه التصميم فى صنع المحولات اذ اننا لسنا بحاجة الى مواعد قابله للفك والتركيب كما ندوم الودنات ماثبة التبريد السى تمد المحول بالأكسجين اللازم لفترة طويلة ( أكثر من ١٠٠ صبة ) .

٢ - ارالة العوسفور بنجاح مهما كانت كمية الكربون بالصلب .

٣ - انخفاض نسبة النروجين والأكسجين بالصلب الناتج .

٤ - ممانسة الصلب الناتج بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية وطرق تشغيله .

٥ - زيادة الفرصة لصهر الانواع مختلفة من الخامات الأولية اللازمة لصنع الحديد المطلوب .

٦ - امكانية صهر الخردة واحزال كمي كبير من خام الحديد كما يودى الى رفع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .

٧ - راس المال اللازم لصناعة هذه المحولات أقل من رأس المال المطلوب لصنع الأفران المفتوحة والتي لها نفس السعة الانتاجية للمحولات .

٨ - كبر سعة المحول .

ولا يعيب هذه الطريقة الا غزارة انبعاث الأبخرة الداكنة والتي تحمل معها الدقائق الصغيرة من الجبر وخلافه ولهذا فانه من الواجب تشييد وحدة خاصة لتنقية هذه الغازات .

## ٢ - تصميم المحول ذى النفخ العلوى

ومن ناحية التصميم لا يوجد هناك أى تباين بين هذا النوع من المحولات وبين محولات بسممر بحد أن هذا النوع لا يحتاج الى ودنات لانتفخ ، أو الى صندوق الهواء اذا أن قاعدته صماء .

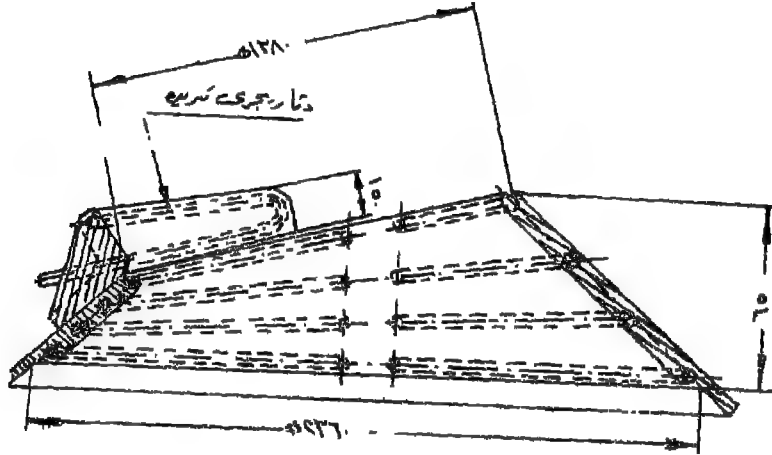
ولسهولة عمليات الصيانة فانه فى العادة تصنع هذه القاعدة بحبيب يمكن فصلها وتركيبها كفىما نشاء .



## فوهة المحول :

تشبه تماما فوهة المحول العادى أى قاعدى النفخ وتزاح قليلا بالنسبة الى محور المحول حتى يكون تفريغ ( صب ) المعدن اكثر يسرا وسهولة .

ومى احدى الوحدات الصناعية للاتحاد السوفينى تستخدم محولات ذات فوهات تحتوى على أنابيب بها مياه تبريد دورية .



شكل (٢٩) : استعمال المياه فى تبريد فوهة المحول .

ونمتاز مثل هذه الفوهات بعدم تعرضها للحريق وباحتفاظها بأبعادها الأساسية خلال العمل كما يمكن تنظيفها بسهولة مما يعلق بها من بقايا المعدن والخبث ( بر ) .

لفوهة هذا النوع من المحولات نفس الأبعاد التى لفوهة محولات بيسمر وتوماس . ولأبعاد فوهة المحول تأثير كبير فى كمية النتروجين المحتص فى الصلب الناتج . فإذا كان قطر الفوهة كبيرا أدى ذلك الى إتاحة الفرصة لاختلاط الهواء الجوى بالمعدن ويذوب كبير من النتروجين بالمعدن الذى يكون عند درجة حرارة عالية جدا .

ويقدر سائما حجم المذوفات الحديدية التى يلفظها المحول خارجه ومنها تحدد الكفاية الانتاجية للصلب الناتج تبعاً لاتساع فوهة المحول .  
وفد لاحظ عمال المسبك فى احدى مصانع الصلب بهذه الطريقة أن أعلى كفاية انتاجية لمحول حجمه ١٦٥ م<sup>٣</sup> يسع ٢٠ طنا يمكن الحصول عليها اذا تراوح قطر فوهة المحول بين ١٣٠٠ - ١٦٠٠ مم .

وينفخ الأكسجين على الحديد الزهر بمعدل ٥٥ - ٣٦٠ م تكون كفاءته أعلى من الكفاية الانتاجية لنفس المحول اذا كان فطر فوهته ١٦٠٠ مم .

وفي المحول الأول الذى يبلغ فطر فوهته ١٣٠٠ مم تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب المنتج بين ٠.٠٥ - ٠.٠٧ ٪ بينما تتراوح هذه النسبة بين ٠.٠٦ - ٠.٠٩ ٪ فى المحول الذى يبلغ قطر فوهته ١٦٠٠ ميلليمتر . وهذه النقطة لها أهميتها .

ويجب ان يوضع فى الاعتبار عند تصميم المحول أن يكون شكل وأبعاد فوهة المحول مناسبة حتى نسمح لصب الحديد الزهر فيه بسهولة ويكون الفاقد منه أقل ما يمكن .

وفى العادة يصمم المحول المعد لنفخ الأكسجين والذى يسع ٢٤ - ٤٠ طنا بحيث يكون القطر الخارجى لفوهته بين ١٢٥ - ١٢٨ مترا .

وقد وجد أن أنسب طول للفطر الداخلى لفوهة محول من هذا النوع سعته ٦٠ طنا هو ١٥٠٠ مم .

### بطانة المحول وعمر مدة أدائها :

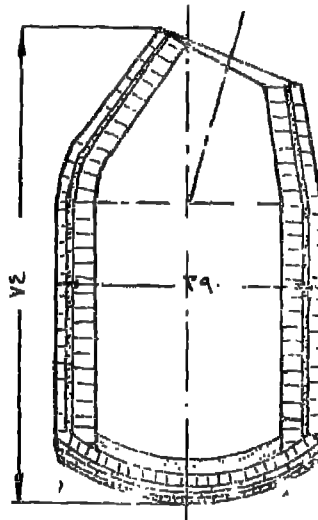
يمكن صنع طبقة البطانة التى تتعرض مباشرة للمعدن من طوب الدولوميت المخلوط بالقطران كمادة لاصقة أو من طوب المجنزيت القارى الذى لم يتعرض للحريق بعد ، أو من طوب المجنزيت العساذى الذى تم حرقه كما يمكن استعمال الطوب عالى الجودة ( ذى الأداء الممتاز ) الذى له صمود كبير للحرارة وأنواع الطوب الحرارى الخاصة كالكرومجنزيت . وهذه المواد الحرارية قد بحثت تفصيلا فيما سبق .

ومن المعقول جدا أن نكون بطانة المحول فى وضع رأسى على طبقتين احدهما داخلية وملاصقة للمعدن والأخرى أساسية ( طبقة وافية لهيكل المحول ) ويملا الفراغ بين الطبقتين دكا بطبقة من الدولوميت أو خليط من المجنزيت والقار .

وبهذه الطريقة نتعرض الطبقة من الدولوميت الداخلية والمواجهة للمعدن للتآكل وربما تستهلك عن آخرها دون أن نتعرض باقى البطانة للتآكل فتزداد مدة أدائها وفى المحولات صغيرة الحجم قد نستخدم أحيانا طبقة مفردة فى التبطين ولكنها لا تترك حتى تستهلك عن آخرها خوفا على هيكل المحول .

وهذا يجعل بنهاية المواد الحرارية المستخدمة ، وفى بعض الأحيان ، يبطن المحول فى المنطقة التى يبلغ الناكل فيها قيمة العظمى بطوب المجنزيت ذى الأداء الممتاز والذى له درجة صمود عالية أمام الحرارة بينما يبطن باقى المحول بطوب المجنزيت العادى .

ويبلغ سمك الطبقة المعرضة للمعدن فى البطانة المزدوجة ( ذات الطبقتين ) لمحول سعنه ٣٠ - ٤٥ طنا - ٤٠٠ مم . وعادة يكون سمك الطبقة الأساسية ٢٥٠ مم أى أن السمك الكلى للطبقتين معا حوالى ٦٠٠ - ٦٥٠ مم .



شكل (٣٠) : محول أكسجين النفخ

ويبلغ السمك الكلى للبطانة المزدوجة لمحول يسع ٦٧ طنا (٥٤-٨١) ٩٦٥ مم وتعمل الطبقة الأساسية لبطانة المحول من طوب المجنزيت كما تصنع الطبقة المعرضة للتفاعلات المختلفة فى المعدن المنصهر من طوب الدولوميت المقطرن .

#### وينتأثر عمر البطانة بالعوامل المختلفة الآتية :

- ١ - نوع الحرارية المستخدمة فى صنع البطانة .
- ٢ - نوع طوب الحرارية .
- ٣ - الحجم النوعى للمحول .
- ٤ - قطر المحول .

٥ - طريقة التشغيل ودرجه الحرارة عند النفخ ، ومعدل نكود الخبث ، وضغط الأكسجين ومعدل استهلاكه ، وارتفاع قصباء النفخ فوق سطح المعدن ، كمية السليكون بالحديد الزهر ٠٠ الخ ٠٠٠

٦ - محاذاة محور الودئات مع المحور الهندسى الرأسى للمحول .  
ولقد أجري أبحاث واسعة لاختيار عمر بطانة ( طبقة البطانة ) المعرضة للتشغيل لمحاولات ٣٠ - ٤٠ طنا وكانت هذه الطبقة من البطانة مصنوعة من الدولوميت المفطرون وطوب المجريت المفطرون وكانت لهذه الأبحاث أهمية بالغه إذ ثبت أن هذه الطبقة يمكنها الصمود حتى ٢٥٠ صبه بنما فى حالة المحولات سعة ٤٥ طنا والمصنوعة من طوب المجنزيت العادى فانها تتداعى بعد ٢٠٠ صبه فى حين انه فى المحولات ٣٠ - ٣٥ طنا والمبطنة بطوب المجنزيت الخاص ذى الكثافة العالمة والذى له مقاومة شديدة للصدمات الحراريه ودرجة التفكك الدبناييكى له أعلى من ٥١٨٠٠م فإن هذا النوع من البطانة يصمد حتى عمر ٥٠٠ صبه .

وتستمر الطبقة الأساسيه للبطانه فى جميع المحولات، ذات البطانه المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانه الداخليه ، طوب الكرومجنريت المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانه الداخليه ، ويستخدم طوب الكرومجنريت لصناعة البطانة المفردة فى المحولات النى سعة ٢٥٠ طنا ويكون سمكها ٣٨٠مم وتكفى لتحويل ١٨٠ شحنة من الحديد الزهر على مدى البطانة الواحده .

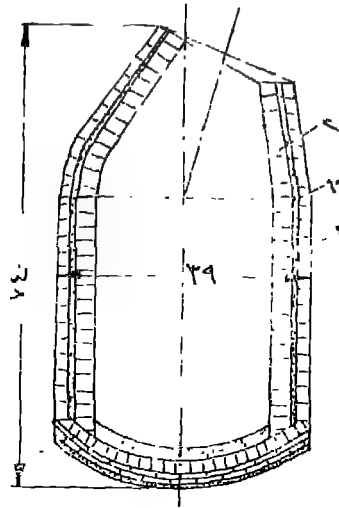
ويتدخل عدد من المؤثرات الطبيعىة والكيميائيه لوضع النهايه لعمر البطانة وأهم هذه العوامل هى :

- ١ - الفعل ( التأثير ) الميكانيكى لحركة المعدن المنصهر .
  - ٢ - التأثير المباشر للارتفاع الشديد فى درجة الحرارة بسبب تيار الأكسجين .
  - ٣ - تشبع سطح البطانة الحراريه الملاصقة للمعدن المنصهر بأكاسيد الحديد .
  - ٤ - التأثير السيئ للسليكا المتكونه خلال فترة النفخ الأولى حيث يكون ذوبان الجير جزئيا فى المعدن .  
ومما يزيد من خطورة هذه المؤثرات ارتفاع درجة حراره المعدن المنصهر الى أكبر من ١٦٥ م .
- ولهذا السبب فانه بأجراء عمليه تبريد مناسبة يطول عمر البطانة ولا تستهلك الا بعد عدد أكبر من الصببات .  
وبزيادة كل من الحجم النوعى وقطر المحول يكون هذا عاملا هاما على

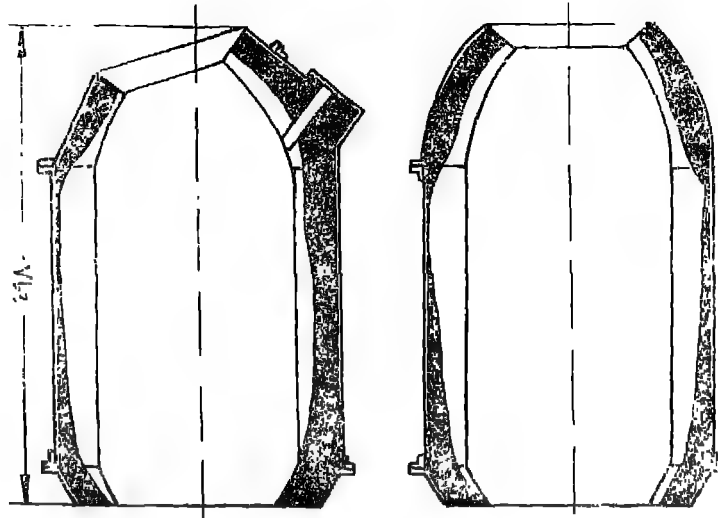
حفض تأثير بيار الأكسجين على سطح الحرايات المبطنه للمحول والحد من تلفها واستهلاكها .

وبضبط ودنة النفخ على المحور الهندسى للمحول بالاستعانة بجهاز ضبط حاص يصبح بيار الأكسجين متساويا مع البعد تماما عن جدران المحول .

يبين شكل ( ٣١ ) رسم توضيحي لبطانة محول متعددة الطبقات ، ويسع هذا المحول ٢٠ طنا .



شكل ( ٣١ ) : يوضح بطانة متعددة الطبقات :  
١ - الطبقة الأساسية ( الى ندمى هيك  
ل التوت ) .  
٢ - الطبقة المواجهة للمعدن المنصهر .  
٣ - خليط الحرايات المستخدم فى مل  
الفراغ بين الطبقتين .



شكل ( ٣٢ ) : بين شكل النعات ( التآكل ) فى حرايات بطانة المحول عند نهاية مدة اذائها .

ويوضح شكل ( ٣٢ ) منظرا لشكل التآكل النمطي في هذا المحول ،  
ويلاحظ من الشكل شدة تعرض الأجزاء العليا من البطانة للتآكل في  
الوقت الذي تتآكل فيه القواعد بدرجة غير ملحوظة .

وكما أن أى خطأ في تسخين المحول بعد ترميمه قد يؤثر تأثيرا سيئا  
على عمر البطانة ، فإن الارتفاع المفاجيء في درجة الحرارة يؤدي الى تقشر  
حرارياتها .

وبالعكس فإن التسخين الهين له تأثير سيء على القار الذي يعمل  
كمادة لاصقة اذ يعمل على دفعه خارج البطانة مما يتلفها ويفسد  
خواصها .

ولمحول سعته ٢٥ - ٣٥ طنا تستغرق مدة تجفيفه ثم تسخينه حتى  
٨٢٠٠ م ٥٠ حوالى ١٢ ساعة ويمكن اطالة عمر البطانة بعمل الترميمات  
والبطانة ساخنة .

ولهذا الغرض يدار المحول بطريقة ما حتى يصبح المكان المراد ترميمه  
الى أسفل وبعد صب الصلب يتبقى بعض الخبث السائل الذي يتجمع  
في المكان المصاب من البطانة وعندئذ يلقي بعض الطوب الحرارى المجروش  
الى الخبث ثم يسقط مشعل الغاز على المكان المصاب .

ويمكن أيضا ترميم الأماكن الضعيفة بواسطة خلطة من الحراريات  
المجروشة المضاف اليها القار كمادة لاصقة .

ويستهلك انتاج الطن من الصلب حوالى ٩ - ١٠ كجم من الحراريات  
اذا كانت طبقة البطانة المعرضة للمعدن من الدولوميت المقطرن وطوب  
المجنزيت .

ويقل كثيرا الاستهلاك للحراريات اذا استخدمنا أنواعا خاصة من  
طوب المجنزيت ذى الجودة العالية لصناعة البطانة المزدوجة فينخفض  
الاستهلاك الى ٥ - ٧ كجم لكل طن من الصلب .

( تتطلب الأفران المفتوحة ١٨ كجم من الطوب الحرارى للبطانة ،  
٢٠ كجم من الدولوميت لاصلاح الترميمات المختلفة أى يستهلك ٣٨ كجم  
منها لكل طن من الصلب الناتج ) .

#### الأبعاد الأساسية عند تصميم المحول :

يعطى جدول (٢٠) الأبعاد الأساسية الرئيسية للمحولات علوية النفخ  
والتي تستخدم في الاتحاد السوفيتى وغيره من البلدان الأخرى .

## جدول (٢٠)

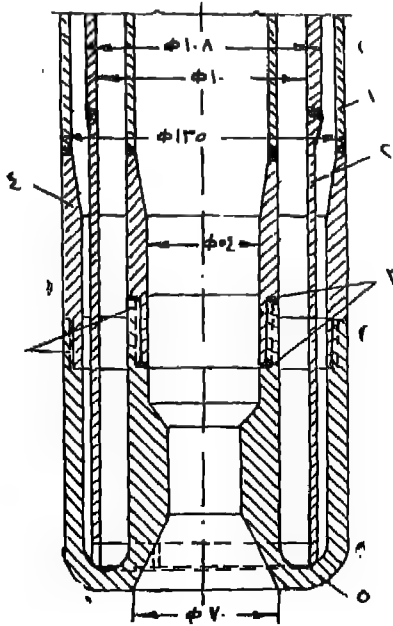
كندا	ولايات متحدة أمريكية	النمسا دونيترز	النمسا لينز	الاتحاد السوفيتي وحدة ب	الاتحاد السوفيتي وحدة أ	
٤٠	٤٤	٣٣	٣٠	٣٧	٣٦ر٥	شحنة المحول بالطن
٢٢ر٥	-	٣٢	٣٠	٥٢	٢٠	حجم المحول م
٨١	-	٩٧	١٠	١٤	٧٦	نسبة حجم المحول الى وزن شحنته م طن
٧٦	-	٦٧٥	٧٤	٦٨٧٥	٥٧٢	ارتفاع المحول م
٤٣	-	٤٣	٣٩	٤٣٤	٣٥	القطر الخارجي للمحول م
٣٠	٦٧	٢	٣٧	٣٤٥	٢٥٤	القطر الداخلي للمحول م
١٥	٣٩٥	١٨٣٥	-	٢٤٤	١٤٧	القطر الخارجي لهوهة المحول م

وعند نهاية البطانة يزداد حجم المحول فى وحدة تشغيل المحولات من ٣م٣٢٥ الى ٣م٤٧ وبعبارة ذلك يمكن زيادة مقدار الشحنة المضافة .  
ويبلغ عمق المعدن المنصهر داخل المحول لسحنة تزيد عن ٣٠ طنا مترا واحدا وكلما تأكلت البطانة أكثر كلما انخفض هذا العمق الى ٧٥-٨٠مترا ( لنفس الشحنة ) .

ويمكن إطالة عمر بطانة المحول وكفاءته الانتاجية اذا احتفظ حجمه النوعى بالقيمة ١-٣م١٠ لكل طن من الشحنة وتتأثر الدرجة كبيرة كمية المقذوفات الحديدية بارتفاع المحول فزيادة ارتفاعه يقل بنثر هذه المقذوفات خارج المحول ويبقى الكنر منها داخله دون أن تبلى فوهته مما يقلل من كمية الفاقد من الصلب فمزداد انتاجه .

### ٣ - جهاز تمويل الأكسجين

تستخدم الأنابيب المبرشمة ( غير الملحومة ) فى صناعة ودنات ( قصبات ) تمويل الأكسجين الى داخل المحول ويستخدم لهذا الغرض ثلاث أنابيب متحدة المركز داخل بعضها البعض وتقوم الأنبوبة الوسطى بتغذية المعدن بالأكسجين بينما تشتغل الأنبوبتان الأخرتان فى التبريد . وللأنبوبة رأس نحاسية تدمج بها اما بالقلوطة أو باللحام كما فى شكل ( ٣٣ ) وتأخذ الأنبوبة وضعاً رأسياً بحيث ينطبق محورها على المحور الهندسى للمحول تماما .



شكل (٣٣) : قصبية تدفق الأكسجين ،  
بريد بالماء

- ١ - الأنبوبة الخارجية
- ٢ - أنبوبة الفصل
- ٣ - فواصل من الرصاص
- ٤ - وليمة معدنية
- ٥ - لقمة نحاسية



ويحدد طولها ببعاء لارتفاع المحول ومستوى شحنة المعدن داخله ويجب أن تكون أبعادها وشكلها بحيث تسمح لها بالحركة الحرة ارتفاعا وانخفاضا فنتمكن من خفضها حتى ١٥٠ - ٢٠٠ مم فوق السطح الخالص للمعدن كما يمكن من رفعها بهائيا بعيدا عن المحول حتى نتمكن من إهالته بسهولة . ونبذل أنابيب الأكسجين هذه من ٧ - ٩ مم طولاً وهي على شكل الحرف U. ويصبح طولها عندما يبعد جانبها بعد رفعها من المحول حوالي ٣ - ٤ مم ( كما في شكل ٣٤ ) .

ويستعان بمجموعة من البكرات تشغل من حجرة المراقبة لرفع وحفظ أنبوبة تمويل الأكسجين ويدفع الأكسجين إلى القصبات عن طريق خراطيم متنية ومعزولة من الخارج بطبقة من الاسبستوس ويتحدد سلفاً أبعاد فوهة أنبوبة تمويل الأكسجين وشكلها بمعلومة كمية الأكسجين التي نمر خلالها وظروف التشغيل الخاصة .

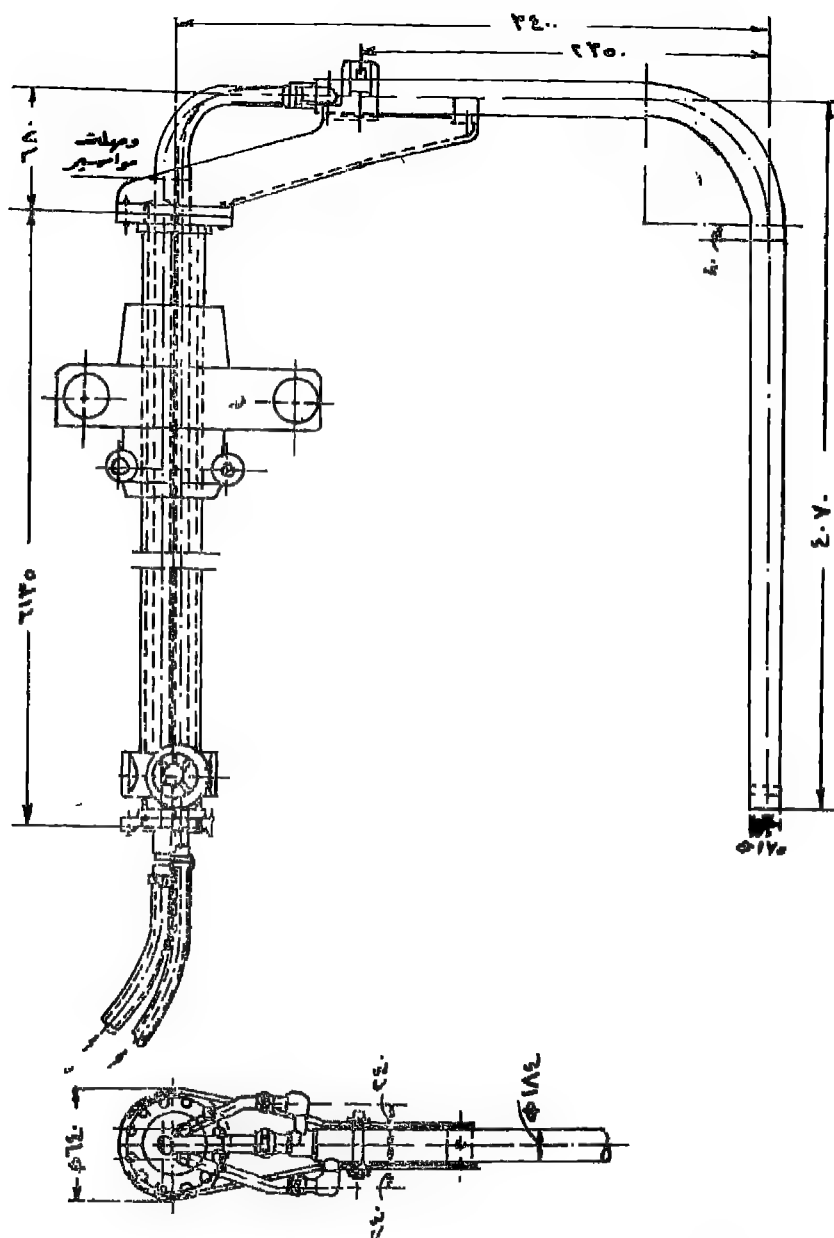
وتلزم كمية من الماء بقدر بحوالي ٨ - ١٠ لتر في النوبة لأغراض التبريد اللازمة لأنبوبة تمويل الأكسجين والتي يبلغ قطرها الخارجى ١٠٨ مم ( لمحول سعة ١٠ طن وحجمه ٨ م٣ ) .

ويرفع هذه الكمية من مياه التبريد إلى ١٢ - ١٤ لتراً ثانية إذا كان القطر الخارجى لأنبوبة المد بالأكسجين ١٣٥ مم ( وتستخدم في المحولات سعة ١٣ - ١٦ طناً ذات الحجم ١٢ م٣ ) .

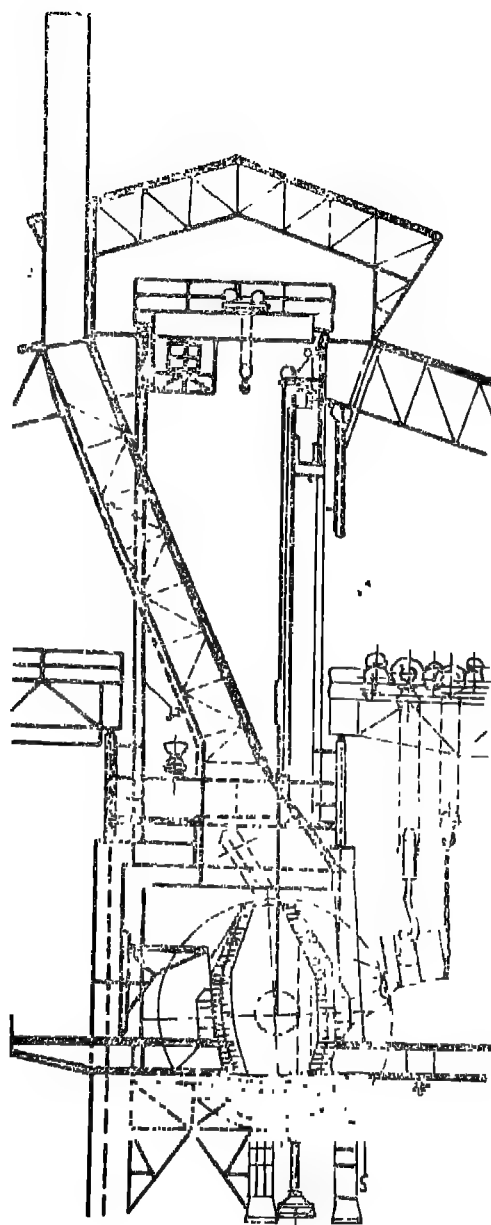
وإذا كانت الأنبوبة مستدقة وطولها ٣٢ م ، وقطرها عند نهايتها العليا ١٩٤ م ، وقطرها على نهايتها السفلى ١٧٥ مم ( ويستعمل لمحول سعة ٢٦٥ طناً وحجمه ٢٠ م٣ ) كانت كمية المياه اللازمة للتبريد بين ١١ - ١٢ لتراً / نوبة .

وندفع هذه المياه بواسطة مضخات خاصة بحسب ضغط يعادل ٦ - ٨ ضغطاً جويًا ، ويجب ألا تزيد درجة حرارة هذه المياه عند مغادرتها أنبوبة الأكسجين عن ٤٠ درجة مئوية . ويتم تغيير الرأس النحاسية للأنبوبة بعد ١٠٠٠ ( ألف صبة ) .

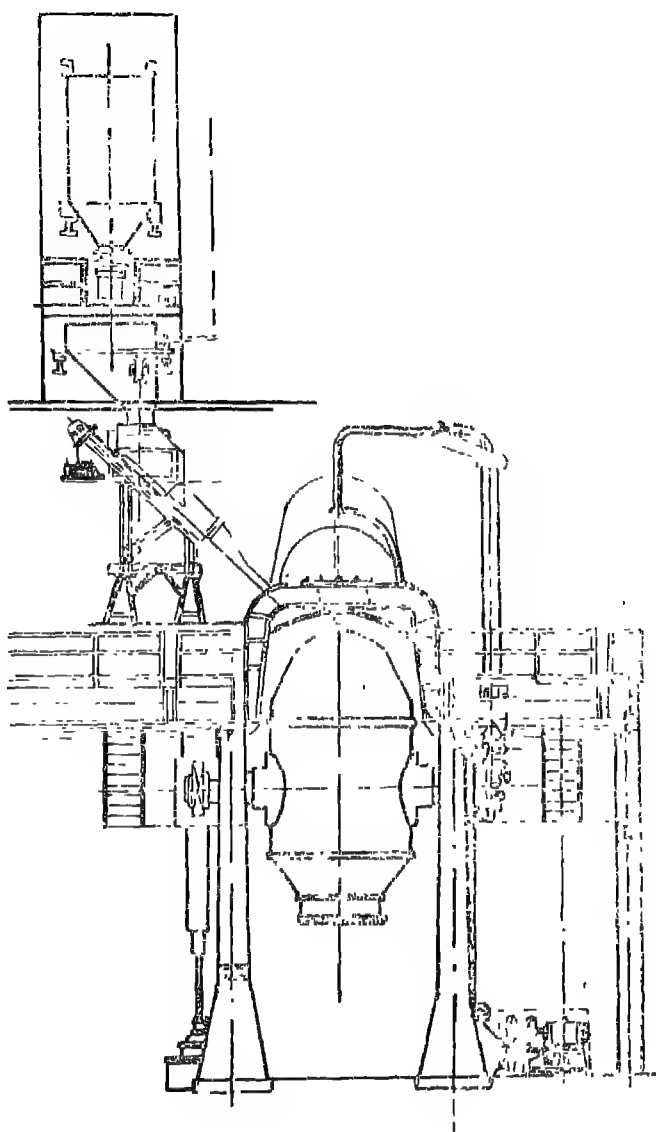
ونرى في شكل ( ٣٥ ) منظراً عاماً لمحول من هذا النوع وأنبوبة تمويل بالأكسجين رأسية وهي شكل ( ٣٦ ) منظراً لمحول ذي أنبوبة على شكل حرف U .



شكل (٣٤) : قصبه على شكل حرف U بتدوير بواسطة المياه •



شكل (٣٥) : منظر عام لمصنع صلب نه محمول بقصبة رأسية

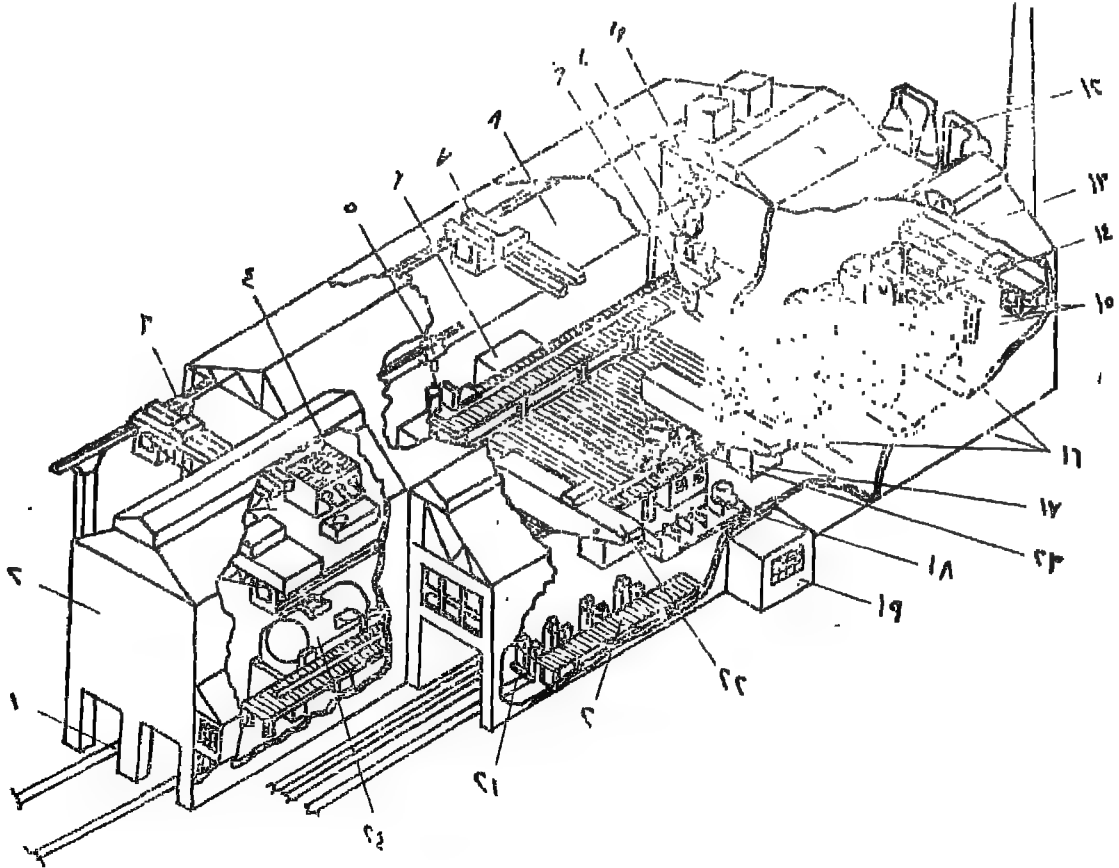


شكل (٣٦) : يبين منظرا عاما به قصبة على شكل حرف U

## ٤ - تصريف الشحنة

من الأمور التي تحتل المرتبة الأولى من حيث الأهمية أنه يجب وضع الشحنة بالمحصول بطريقة تكفل إضافة المواد الأخرى دون أن يكون هناك أى تأخير في ذلك سواء كانت إضافتها قبل إجراء عملية النفخ أو أثنائها .

ويجدر بنا أن نأخذ في الاعتبار زيادة كمية خام الحديد والمواد الصهارة عنها في الطرق الأخرى في تشغيل المحولات وتكون الإضافات للخام بواقع ٥-٨٪ لكل طن من الصلب الناتج ، والجير بواقع ٧-٩٪ والبيكسيت ٥-١٠٪ وفي بعض الأحيان يضاف بعض الفلوريت ( الفلورسبار ) لتسهيل ذوبان الجير . ونرى في شكل ( ٣٧ ) رسماً لأحد مصانع الصلب به ثلاثة محولات سعة كل منها ٢٦٥ طناً وتجرى عملية شحنها على النحو التالي .



شكل ( ٣٧ ) : رسم تخطيطي لاسم المحولات يضم ٣ محولات سعة كل منها ٢٦٥ طناً .

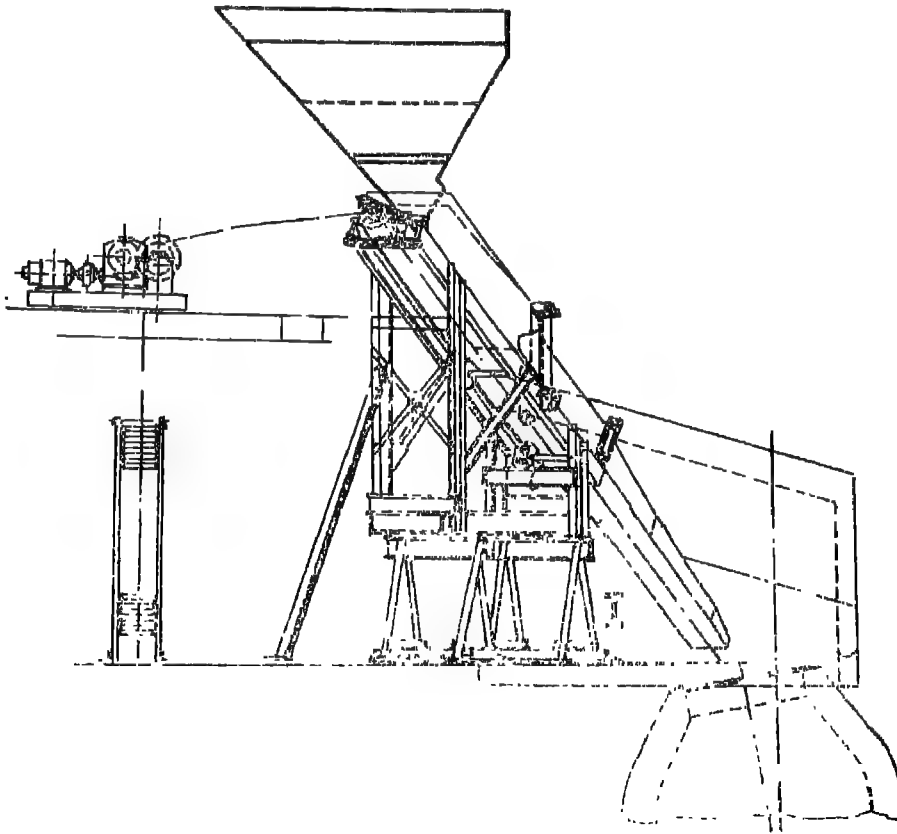
تشحن صوامع الجير والبوكسيت الموجوده فى مستوى الصاله  
بواسطة أوناش مناسبة .

يحمل ( وينقل ) الجير والبوكسيت من الصوامع فى قواديس تسع  
٨ م ٣ ثم توضع على عربة تتحرك كهربائيا مارا بجميع المحولات-  
الثلاثة ثم تنقل الحمولة الى ونش ذى القضييب الواحد .

ونوجد ثلاث صوامع واحدة للخام والثانية للجير والأخيرة للبوكسيت،  
وتسحب الكمية اللازمة من كل صومعة حيث توزن ثم تشحن الى المحول  
بالاستعانة بفتحة شحن ( مسقط مواد ) ( انظر شكل ٣٦ ) .

ويجب توخى السهولة فى حركة اماله مسقط المواد لدرجة كافية  
حتى نتمكن من تفريغ المواد فى المحول بسرعة ويسر وتكفى امالة هذا  
المسقط لغاية ٣٨° لانجاز هذه العملية .

ويوضح شكل (٣٨) جهاز الاسقاط حيث يمكن استخدامه لشحن المواد



شكل (٣٨) : شوت ( مسقط ) متحرك يسقط المواد المختلفة فى المحول

المطلوبة فى أى وقت أثناء النفخ دون أن يكون هناك ما يدعو لدوران المحول أو توقف ( إيقاف ) عملية النفخ . ويمد جهاز الاسقاط بواسطة ونش كهربى وحداثة لم يضبط فوق فوهة المحول لتفريغ حموله لم يبعد عن منطقة الغازات الملتهبة المتصاعدة من المحول ويسخدم فى صنع نهاية المسقط نوع من الصاب ذى المقاومة العالية للحرارة . ويشغل هذا المسقط من غرفة المراقبة . وتسحب كمية الحديد الزهر المناسبة من الخلط لم تنقل الى المحول فى عربة خاصة ثم تصب فى المحول اما باستخدام ونش علوى متنقل أو باستخدام عربة مزودة بجهاز لاساله البنادق وتتحرك العربة بواسطة الكهرباء ونوزن شحنة الحديد الزهر بميزان خاص مقام فى موقع الخلط ومن المستحسن استخدام الونش العلوى المنحرك لنقل الحديد الزهر من الخلط الى المحول نظرا لسهولة التحكم والسيطرة على حركة البودقة أثناء تفريغ الحديد الزهر مما يكون له أكبر الأثر فى تقليل الفاقد منه .

#### ٥ - أجهزة تنقية غازات المحولات

من الأمور البالغة الأهمية تنقية الغازات والأدخنة التى تتصاعد أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا المحول .

ويصاحب نصاعده هذه الغازات أبخرة بنية داكنة تحتوى على كثير من الجزيئات الدقيقة لأكاسيد الحديد والتى يجب ازالتها . ولقد بنيت الأبحاث التى أجريت على هذه الابخرة أن ٥٠ - ٨٠ ٪ منها تحتوى على جزيئات دقيقة حجمها حتى ٠.٥ ميكرون ، وسبة ٥-١٥ ٪ حبيبات يزيد حجمها عن اميكرون . والجدول الآتى (٢١) يعطى النسب المثوية لتركيب الغبار المتصاعد مع غاز المحولات .

ح	م	س أ ٢	كا أ	او ٢ أ	مغ أ	فو	كب
٦٠٧٤	٥٤٦	١٦٥	١٩٥	٠٠٠٠	٠٦	١٠٥	١٠٥
٦٦٠٠	٤٥	٨	٥٤	٩			
٦٥٤	٤٤٤	٨	٣٨	٩٨			لا توجد بيانات

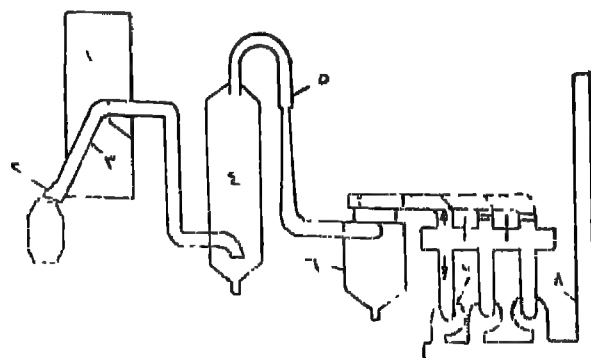
ووصل أكاسيد الحديد مكانة الصدارة في تحليل غبار المحولات اد سمحود على أكبر نسبة منه ويتكون هذا الغبار أساسا بتبخر الحديد في منطقة التفاعلات ( ٨-١٦٪ ) وتناكسد أبخرة الحديد والمنجنيز عند تصاعدها مكونه دافق من أكاسيدها تندر مع الغازات المتصاعدة .

وتنغير كمية هذه الأبخرة على مدى كبير يخضع لمعدل نفخ الأكسجين وضغطه وارتفاع انبويه تمويل الأكسجين من سطح المعدن ( عمق منطقة التفاعلات ) وأيضا حجم المحول .

ومن المدهش أن هذه الأبخرة نزن من ١٠-٥٠ كجم / م<sup>٣</sup> من غازات المحول لتي تتصاعد بمعدل ٣٧م<sup>٣</sup> / ثانية من محول سعة ٢٠ طنا أى أنه اذا أخذنا متوسط مدة النفخ للصبية ١٥ دقيقة فان كمية الغازات المتصاعدة تبلغ ٦٣٠٠ م<sup>٣</sup> ويصبح متوسط كتلة الأبخرة المتصاعدة حوالى ٢٠٠ كجم للصبية بواقع ١١ كجم لكل طن من الصلب وقد سجلت بعض احصائيات انابعة لهذه العملية ارتفاع كتلة هذه الأبخرة الى ١٨ كجم طن من الصلب الناتج

ويتدخل وضع المحول بالنسبة الى مدخنته الى حد كبير فى تصعيد الأبخرة وتنقية الغازات المتصاعدة .

وأحيانا يؤخذ فى الاعتبار أثناء التصميم وضع المحول بجانب المدخنة وفى مثل هذه الحالات ترتب رؤوس التبريد فوق فوهة المحول بحيث توجه الغازات الى داخل المدخنة ويمثل شكل (٣٩) رسما لاجدى



شكل (٣٩) : وحدة تنقية الغازات فى مصنع للصلب يعوى ٣ محولات سعة كل منها ٢٥٥ طنا .

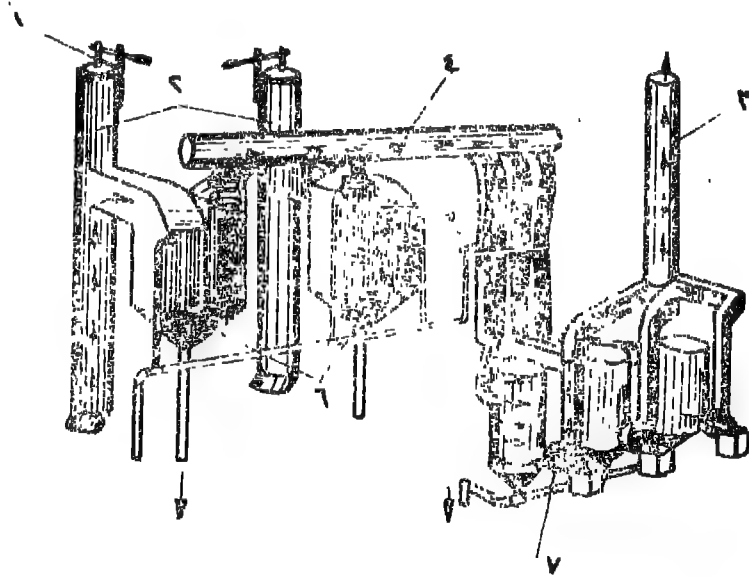
- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| ١ - مدخنة               | ٢ - هوت ( غطاء ) يبرد بالمياه |
| ٣ - انبوية تبرد بالمياه | ٤ - جهاز غسل الغازات          |
| ٥ - انبوية فتتورى       | ٦ - سيكلون                    |
| ٧ - مصرف للغازات        | ٨ - الاقربة                   |



وحدات تنقية غازات المحولات في مصنع للصلب يضم ٣ محولات سعة كل منها ٢٥٥ طنا

ويوضع راس وأنبوبة مياه التبريد تأخذ الغازات المنصاعدة من المحلول طريقها إلى جهاز تنظيف حيث يتم غسلها بواسطة رذاذ الماء المنناثر من رشاشات موجودة به ونستهلك ٣٠٠ طنا من المياه كل ساعة فتترسب أحجام الغبار الكبيرة نسبيا بينما لا تترسب الأتربة فتتمر مع الغازات إلى أنبوبة فنتورى ( لقياس معدل التدفق ) لها اختناق ونقوم بتثبيت الغازات إلى أسفل ويوجد أيضا عند اختناق الأنبوبة رشاشات لرش الماء . وبمرور الغازات في اختناق الأنبوبة تكتسب سرعة كبيرة وتجذب معها ذرات المياه في جهاز لفصل الغبار إلى حد كبير فتترسب دقائق الغبار .

وعندئذ ( تمص ) تسحب الغازات المنفاة بواسطة مضخات تصريف إلى مدخنة ارتفاعها ٤٨ مترا وبهذا تنخفض كمية الغبار في الغازات المنفاة إلى حوالى ٥ رجم في المتر المكعب منها وفي شكل (٤٠) رسم توضيحي لأحدى وحدات تنقية غازات المحولات بأحدى مصانع الصلب في كندا وهي



شكل (٤٠) : رسم توضيحي لأحدى وحدات تنقية غازات المحول وجبع الغبار منها :

- |                 |  |                            |
|-----------------|--|----------------------------|
| ١ - صمام الأمان | ٢ - مدخنة مبطنة                            | ٣ - مدخنة                  |
| ٤ - مجمع علوى   | ٥ - أنبوبة فنتورى وبها رشاشات متوسطة الضغط | ٦ - حجرة تبريد عالية الضغط |
| ٧ - مروحة       |  |                            |

مناسبة لمصنع ذى محولين سعة كل منهما ٤٠ طنا ويوجد فرق كل محول  
منهما كوة مياه التبريد المبطن بالطوب الحرارى ومدخنة ارتفاعها ٣٨ مترا .

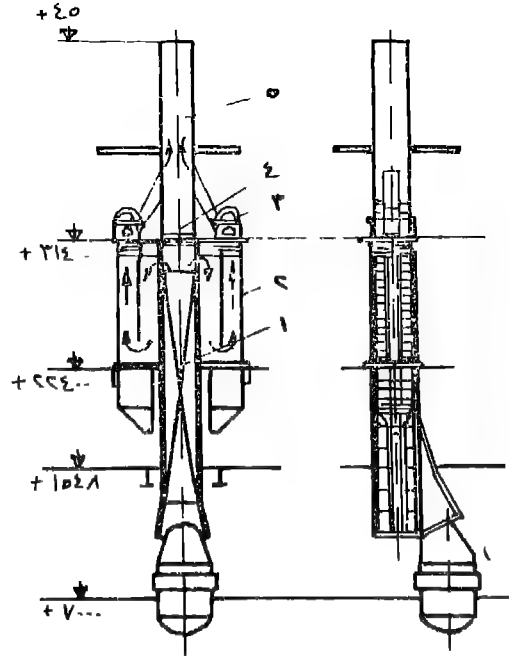
وبسحب الهواء البارد فان درجة حرارة الغازات أسفل كوة التبريد  
لا تزيد عن ٨٥ درجة مئوية وعند ارتفاع معين تنتقل غازات المحرل منها  
من المدخنة الى حجرات مزودة برشاشات للمياه ، تعمل تحت ضغط  
يعادل ١٠٥ ضغط جوى (مقيسا بمقياس الضغط) وتدفع هذه الرشاشات  
الماء رذاذا بمعدل ٩٧٥ لترا / دقيقة .

ومن غرف التبريد تدخل الغازات الى مجمع ثم تتوجه الى أنابيب  
فنتورى حيث تقابلها رشاشات توجد عند اختناق هذه الأنابيب ثم  
توجه الغازات بعد ذلك الى ( سيفونات ارتفاعها ١ ر ٩ م وقطرها ٣٧ م  
( اثبان منها صالحان للعمل والثالث فى الصيانة ) وبعد ذلك تسمحب هذه  
الغازات بواسطة مراوح بمعدل ٢٠٠ م ٣ / دقيقة وتطرد فى الهواء الجوى  
عند درجة حرارة أقل من ٦٠ درجة مئوية .

يتضح لنا الفرق الشاسع فى كمية الغبار الموجود بالغازات  
أولا وكمية فيها بعد الاستخلاص فنجد أن كمية الغبار أولا ١٦  
حجم / م<sup>٣</sup> ثم أصبحت ٥ ر - جم / سم<sup>٣</sup> ويعطينا تكل ( ٤١ ) صورة  
لاحدى وحدات تنقية الغازات الموجودة بالنمسا .

ويستفاد من كمية الحرارة التى تحملها الغازات المتصاعدة من  
المحولات منها فى تشغيل الغلايات وتعتبر كمية الحرارة هذه هائلة اذ  
تنخفض درجة حرارة الغازات من ١٧٠٠ - ١٨٠٠ درجة مئوية الى  
٥٠٠ درجة مئوية .

وتسحب الغازات بعد تبريدها بواسطة مضختى تصريف وتدفع  
الى مصائد الغبار التى تندى بالماء وفى الحال ترسب دقائق الغبار فى  
المصائد المنداة ثم تدفع أو يسمح بخروج الغازات الى الهواء الجوى . ويفتح  
صمام فتتجه على الفور غازات المحول الى المدخنة مارة بالرشاشات المبللة  
بالماء .



شكل (٤١) : جهاز جمع الأتربة واستغلال الحرارة المنطقة مع الغازات  
 ١ - غلاية تعمل بحرارة الغازات  
 ٢ - مرشح يعمل في وسط مبتل  
 ٣ - العادم  
 ٤ - صمام  
 ٥ - أنربة المحول

وبهذه الطريقة تنقى الغازات لدرجة كبيرة فلا نحمل معها فى النهاية  
 الا كمية ضئيلة من الغبار لا تتعدى ١ - ٢٥ ر كجم/م<sup>٣</sup> .

يمثل جدول (٢٢) التحليل النمطى لغازات المحول على ارتفاع ٨-١٠م  
 نحت عنق مدخنة المحول أثناء النفخ .

ويتضح من الجدول أن أول أكسيد الكربون هو أهم مكونات هذه  
 الغازات التى نحتوى على كمية من النتروجين ترجع الى عدم نقاوة الاكسجين  
 تماما ودخول نتروجين الهواء الجوى الى المحول ، كما أنه من المحتمل أن  
 يكون بعض النتروجين قد تسرب الى العينة المأخوذة بسبب عدم احكام  
 الوصلات .

جدول ( ٢٢ )

ملاحظات		نسبة المثوية لتوزيع الغازات المتصاعدة من المحول							رقم الصية
		ن ١	كبد :	يد ٢	كأ ٣	أ ٤	كأ ٥	العينة	
أخذت العينة ١ / بعد ٨ دقائق من بدء النفخ .		٤٧	٦	٧	٨٩١	١٢	٣٧	١	٢٠٤٨٠
أخذت العينة ٢ بعد ١٠ دقائق .		٨٢	١٨	—	٨٣٢	٢	٤٨	٢	
أخذت العينة ٣ بعد ١٢ دقيقة .		٤٦	٢٤	—	٨٦	١٥	٥٥	٣	
أخذت العينة ٤ بعد ١٢٤٥ دقيقة ومدة النفخ الكلية ١٦ دقيقة معدل نفخ الأكسجين ٣٧٣٧٠ / دقيقة ضغط الأكسجين ١٢ ضغط جرى ( مقياس الضغط )		٢٨	٢	١٥	٩١٥	١٦	٢٤	٤	
أخذت بعد ٤٥ ت ، ١ دقيقة من بدء النفخ .		٢٦	١	٢٣	٨١٥	٩	١٠٧	١	٢٠٤٨٣
أخذت بعد ١٠ ، ٦ دقائق		٤٩	٤	٣	٨١٦	٢٦	٤٢	٢	
أخذت بعد ٤٠ ، ١٠ دقائق		٤٢	٢	٤	٨٧	١٨٧	٦٣	٢	

ث ق مدة النفخ الكلية ١٢ ٤٥						
١٣	٧٥	١				
١١٥	٧١	٢				
١٢	٧٢	٣				
ث ق أخذت العينة بعد ٢ من بدء النفخ						
» ٦ ٤٥ »	»	»	٣ر٤	—	٣ر١	٨٠٧
» ٩ ٢٠ »	»	»	٣ر٦	٢	٤ر	٩١٢
			٣ر٢	٣	٧	٩٢٦
					٢	٢
					١	٢٠٤٨٥
مدة النفخ الكلية ١٢ دقيقة						
ضغط الأكسجين في ج (مقياس)	معدل تدفق الأكسجين ٣م/دقيقة	رقم العينة				
١٢ر٥	٧٧	١				
١٢	٧٣	٢				
١١	٧١					

## ٦ - المواد الأولية

التعديد الزهر :

يستخدم حديد زهر الأفران المفتوحة في المحولات التي تطبق فيها طريقة التفتح العلوية بالأكسجين الخاص .

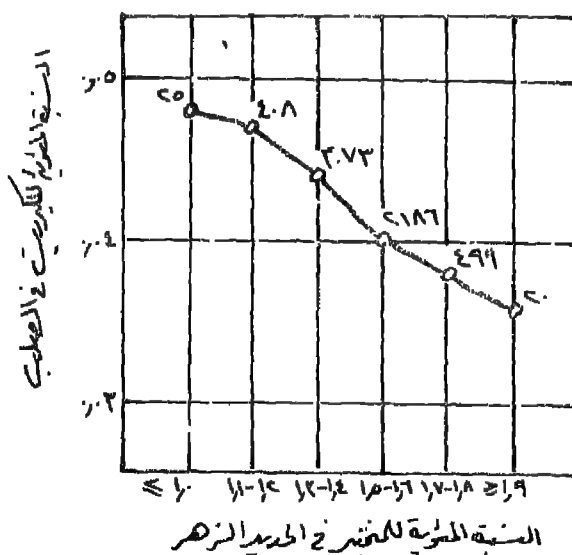
كب			فسو			٢		س
درجة الحديد الزهر			درجة الحديد الزهر			المجموعة		
٣	٢	١	ج	ب	أ			
لا يزيد عن			لا يزيد عن			(٢) (١)		
٠.٧	٠.٥	٠.٣	٣	٢	١.٥	لغاية ٠.٧٥	لغاية ٠.٧٥	

ويحدد التحليل الكيميائي للحديد الزهر سبر العملية وعمر البطانة والنتائج الفنية والاقتصادية للعملية .

وبمعرفة كمية السليكون في الحديد الزهر يتحدد مقدما حجم الحث وما يحتويه من سليكا وبريادة حجم الحث يشتد قذف الحديد خارج المحول ويرتفع استهلاك خام الحديد والجير .

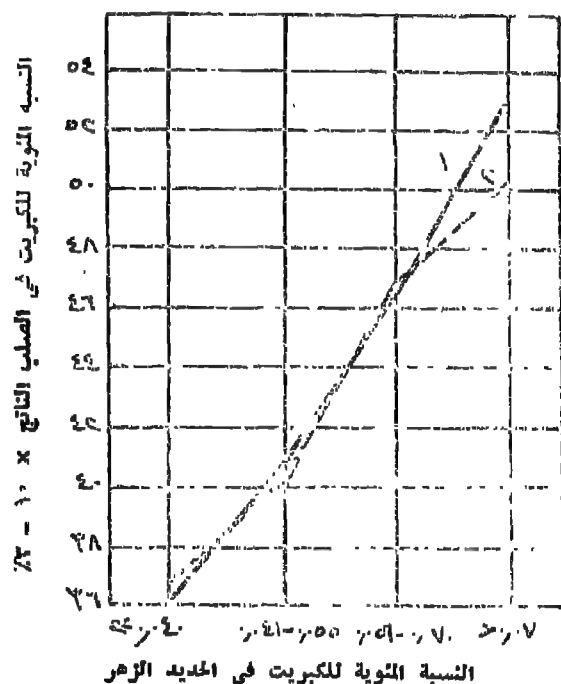
ولزيادة السليكا نأخذ سبب على الحرارية القاعدية للبطانة كما تعوق إزالة كل من الفوسفور والكبريت من الصلب .

في طريقة النفخ العلوية بالأكسجين لا يكون للسليكون المكانة الأولى في الموازنة الحرارية ولهذا السبب يمكن تحويل الحديد الزهر اذا كانت نسبة السليكون به منخفضة ، أما المنجنيز فيقوم بدور فعال في إزالة الكبريت ( شكل ٤٢ ) وفي حالة نفخ الحديد الزهر الذي يحتوي على كبريت ٠.٠٤٪ على الأكثر ويجب أن ترتفع نسبة المنجنيز الى ١.٥٪ اذا كانت نسبة الكبريت بين ٠.٦ - ٠.٦٥٪ أما اذا انخفضت هذه النسبة الى ٠.٥٪ فانه من الممكن أن تقل نسبة المنجنيز الى ١.٣٪ وفي نفس الوقت تضمن إزالة الكبريت بنجاح . ومن المستحسن أن تكون تحاليل الحديد الزهر واقعة تحت المجموعة (٢) اذا استخدمنا طريقة النفخ العلوية لتحويله الى صلب .



شكل (٤٢) : يبين العلاقة بين نسبة الكبريت في الصلب وكمية المنجنيز التي بالحديد الزهر ( الأرقام المبينة على الخط البياني عند الدوائر تدل على عدد الصبات )

وبالنسبة الى كمية الكبريت بالحديد الزهر فقد وجد أن أنسبها ما يقع تحت قسمي (١) ، (٢) وتؤدي الزيادة في نسبة الكبريت بالحديد الزهر الى ارتفاع نسبته في الصلب الناتج ( شكل رقم ٤٣ ) وإذا كانت نسبة الكبريت التي يسمح بها في الصلب الناتج هي ٠.٠٤٪ فانه يمكن الحصول عليها بسهولة اذا احتوى الحديد الزهر على نسبة من الكبريت لغاية ٠.٥٥٪ أما اذا كانت النسب التي يسمح بها في الصلب هي ٠.٥٪ أمكن نفع الحديد الزهر الذي يحتوى على نسبة من الكبريت لغاية ٠.٧٪ ولكن في هذه الحالة يجب أن يكون هناك مقابل من المنجنيز لا تقل نسبته على ١.٣٪ .



شكل (٤٣) يبين العلاقة بين نسبة الكبريت في الصلب وكميته في الحديد الزهر  
١ - في حالة عدم ازالة الخبث ٢ - في حالة ازالة الخبث

ومن المألوف عمليا ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة الصودا وغيرها من العوامل المذيبة للكبريت ويتم ذلك في بواشق الحديد الزهر بين الأفران العالية والمخلاط أو قبل شحن الحديد الزهر الى المحول وعندما تتم ازالة الكبريت من الحديد الزهر في البودقة يجب ابعاد الخبث الكبريتي المنكرو عن كل من المخلاط والمحول اذ تصل نسبة الكبريت بهذا الخبث



الى ٠.٩٪ ولهذا فانه مهما كانت النسبة التى تدخل المحول صغيرة فان ذلك يجعل ازالة الكبريت بالمحول عسرة .

وعندما يحتوى الحديد الزهر على نسبة من الفوسفور لغاية ٠.١٥٪ فانه يمكننا انتاج صلب به نسبة منخفضة من الكربون دون ازاله الحث الاصلى أما اذا ارتفعت نسبة الفوسفور عن ذلك أى كان بين ١٦-٢٥٪ وجب ازالة الحث الاصلى وضبط خبث جديد .

وفى مصانع الصلب بالاتحاد السوفيتى يستعمل الحديد الزهر الذى يحنوى على التحاليل الآتية فى طريقة العلوية :

ك	٣٩ - ٤٣
س	٥ - ٠.٨
م	١٣ - ١٧
كب	٠.٤ - ٠.٧
فو	٨ - ١٥

وفى النمسا يستخدم الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من المنجنيز ( ١٥ - ٢٧٪ ) وفى أحد المصانع تنخفض نسبة السليكون بالحديد الزهر كثيرا فلا تزيد عن ١ - ٣٪ وقد تصل الى ٢ - ١٠٪ فى مصانع أخرى أما الكبريت فيقع بين ٠.٣ - ٠.٧٪ .

أما فى كندا فمتوسط تحاليل الحديد الزهر بمصانعه كما يأتى :

ك	٤٤
س	١٣
م	١٢
كب	٠.٢٥
فو	١٢٥

ولم تواجه أية صعوبة ( فنية ) عند تحويل الحديد الزهر الذى يحتوى على ١٨٪ فوسفورا .

#### الحردة :

يجب مراعاة خلو الحردة من الشوائب كما يجب أن تكون ذات أحجام صغيرة ويضاف الحردة فى المحول بواسطة أوناش الشحن أو بالطريقة

العادية في مسناريق بواسطة الأوناش ولما كانت بعض أجزاء من المحول عرضة للتهشم من جراء سقوط الكتلة الكبيرة من الحردة فوقها فإنه من الواجب أن يراعى تحصينها بصفة خاصة بطوب متين .

وتتحدد كمية الحردة المضافة تبعاً لنسبة السليكون بالحديد الزهر ودرجة حرارته وعادة تتراوح بين ١٥ - ٢٠٪ من وزن شحنة الحديد الزهر .

### الجير :

لنوع الجير أهمية خاصة في صناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية ويجب مراعاة حفظ الجير من التلف ونعنته فور حرقه وبحيث يكون متجانساً في التركيب الكيميائي ومتماثلاً في أحجامه ومما هو جدير بالذكر أنه يجب ألا تزيد نسبة السليكا به عن ٢٥٪ وكنهاية قصوى لهذه النسبة ٤٪ .

ويجب ألا يزيد العائد من الجير أثناء نكلسيه بأي حال من الأحوال عن ١٠٪ كما يتحتم أن يكون الكبريت به أقل ما يمكن .

وقد تزداد نسبة الكبريت بالجير إذا تم تكليس مع فحم الكوك في أفران الدست ، وقد تصل أحياناً إلى نسبة ٣٪ مما يكون له أبعد الأثر في إزالة الكبريت من الصلب .

وباستعمال الغاز الطبيعي في حرق الجير فإن نسبة الكبريت به لا تتعدى ٠,٣٪ ويجب ألا يكلس الفحم مع الجير . وقد وجد أن أحسن الأحجام للكتل الجيرية وأنسبها هي ما تقع بين ٥٠ - ١٠٠ مم وقد يسمح بإضافة نسبة صغيرة من كتل الجير ذات الأحجام الصغيرة ٢٠ - ٥ مم .

وليس من المستحسن استعمال الجير الناعم لأنه سرعان ما يتناثر بعيداً خارج المحلول عند تسليط الأكسجين على الشحنة .

وللجير تأثير ملموس في سرعة تكوين الحث فكلما قلت نسبة الجير الغير نام الاحتراق وكانت أحجامه متماثلة كلما زادت سرعة ذوبانه في الحديد وتكون حث الجير الحديدي في وقت وأقصر . وتعتبر الفترة التي يتأخرها تكوين الحث عاملاً سيئاً يضيع خلالها كثير من الحديد وتناثر طانة المحول وأنبوبة النفخ .

وإذا لم تكن طبقة الحث كافية تنثر المعدن على أنبوبة النفخ ويؤدي ذلك إلى ضياع بعض الوقت حتى يتمكن العامل من تنظيفها .

ولهذا يصبح خضوع مواصفات الجير لرقابة دقيقة أمراً حتمياً وتحدد كمية الجير المضافة الى المحول أساساً بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر وحامض السليسيك الموجود فى الحام كما تتحدد تبعاً للخام المتاح ويتسبب نقص الجير فى انخفاض قاعدية الحث فى حين لا تذوب الكميات الزائدة منه وتطفو كتلاً من الحث .

هذا ويمكن تحديد الكمية المطلوبة من الشكل البياني ( شكل (٤٤) )  
أو من الجداول ومن الرسم البياني تنعين كمية الجير اللازمة كما يأتى :

تحدد نسبة السليكون فى الحديد الزهر ولتكن ٠.٦٪ على المحور الأفقى ويرسم خط رأسى من هذه النقطة ينقطع مع أحد الخطوط المائلة والتى تبين كمية الحام المضاف ولتكن ٨٠٠ كجم ومن نقطة التقاطع هذه نرسم خطاً أفقياً يعطى تقاطعه مع المحور الرأسى كمية الجير اللازمة وهى فى حالتنا هذه تساوى ٩٠٠ كجم .

وتضاف كمية أخرى الى هذه الكمية لضبط الحث النانى ويمرر تحديد حجم هذه الكمية الى الملاحظ الذى يقوم بالعمل اسناداً الى طبيعة الحث المتكون وكمية خام الحديد المضافة . ويتغير استهلاك الجير تبعاً للتركيب الكيميائى للحديد الزهر والطريقة المستخدمة للتبريد ( باضافة الحردة أو خام الحديد ) وتتراوح اضافة الجير بين ٤-٩٪ من وزن الشحنة . . ولقد أصبح الآن فى كثير من الأقطار كالاتحاد السوفيتى وغيره استبدال جزء من الجير بالحجر الجيري أمراً معروفاً .

#### خام الحديد - النفايات الحديدية :

عند اضافة خام الحديد الى شحنة الحديد الزهر مراعاة ألا تزيد نسبة السليكون فيها عن ٨٪ حتى لا يتضخم حجم الحث وتدخل قاعدته كما يجب أن نعدم بقدر الامكان الحامات ذات الأحجام الدقيقة حيث أنها سرعان ما تتطاير مع الغازات المتكونة أثناء النفخ خاصة اذا أضيفت أثناء النفخ .

ومن البديهي أن تكون نسبة الحديد به مرتفعة ( حوالى ٦٠٪ ) حتى تزداد الكفاءة الانتاجية للصلب النانج . وتعتبر النفايات الحديدية بديلاً جيداً لحام الحديد اذ تتميز بانخفاض نسبة السليكون بها ( لغاية ٢.٥٪ ) وارتفاع نسبة الحديد ( حوالى ٧٠٪ )



واليك التحاليل النمطية لهذه النفايات :

٥٨	ح ٢
٣٥٦	
٧٠	ح ( الكلى )
١٧٥	س ٢
٦٢	لو ٢ أ
١٤	كا ٢
٦	مغ ٢
٤٣	م ٢
آثار	فو
آثار	كب

ولكي تكون هذه النفايات صالحة للاستعمال يجب أن تتوفر بها بعض المواصفات ، فيجب أن تكون جافة حتى لا تلتصق بفتحة الشحن للمحول .

ويتوقف معدل اضافة خام الحديد على الطريقة المتبعة وعندما تسبب النفايات المعدنية في تبريد الشحنة تزود الشحنة بكمية من خام الحديد فغط حتى تزداد اكاسيد الحديد بالخبث مما يسرع باذابة الجير وفي هذه الحالة يكون استهلاك خام الحديد والنفايات المعدنية بمعدل ٧٠-١٠٠ / .

واذا لم تضاف النفايات المعدنية ( اضافة الخام فقط ) فان معدل اضافة الخام في هذه الحالة يكون عادة بواقع ٧٠-٥٠٪ من وزن الشحنة ويقوم العامل المنوط اليه القيام بمتابعة هذه العملية بتنظيم هذا المعدل استنادا الى تحاليل الشحنة ودرجة حرارة المحول ونسبة الكربون بالصلب الناتج ومعدل اندفاع الاكسوجين ودرجة حرارة الصبة السابقة حيث تتحدد طريقة التبريد .

ويستفاد كثيرا اذا استعملنا خامة الحديد التي سبق تركيزها وتكوينها . والتي تحتوى على ٦٥ - ٧٠٪ حديدا ، ١٥-٢٠٪ سليكا .

### البوكسيت والفلوريت ( الفلورسبار ) :

حتى يتكون الخبث سريعا يضاف البوكسيت الى الشحنة بكمية تتراوح بين ٥-١٠٪ من وزنها ويكون العامل المحدد هو السليكون

الموجود بالحديد الزهر وللألومينا الموجودة بالبوكسيت تأثير كبير على تكوين الحثب .

وترتفع نسبة السليكا بالبوكسيت حتى ١٠٪ وأكسيد الحديد حتى ٥٥٪ أما باقى الشوائب فتتواجد بكميات ضئيلة ( من ٠.١-٣.٥ ٪ ونظرا لشراهة امتصاص البوكسيت لبخار الماء فانه يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة ( لغاية ٢٠٪ ) .

ويتربكب الفلوريت من الكالسيوم والفلور اذ أن قانونه الكيميائى هو كافل ٢ وتحتوى الأنواع الجيدة من الفلوريت على أكثر من ٩٢٪ من فلوريد الكالسيوم وتكون نسبة السليكا بها أقل من ٥٪ وترجع أهمية الفلوريت الى مساعدته على سرعة ذوبان الجير فى الحثب لتكوين مصهور الحثب القاعدى .

### خام المنجنيز :

لقد وجد عمليا أنه فى بعض الأحيان تسهل عملية ازالة الكبريت باضافة خام المنجنيز وعند استعمال طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الحالى يجب اضافة خام المنجنيز الذى يحتوى على أكثر من ٤٥٪ من المنجنيز وعلى أقل من ١٠٪ من السليكا .

## ٧ - مراحل النفخ - التفاعلات التى تحدث داخل المحلول

### تكوين الحثب

تضاف الى شحنة الحديد بالمحلول المواد المختلفة اللازمة كالحردة والجير وخام الحديد والنفايات المعدنية أو قوالب الجير الجبرى والبوكسيت . وقد تضاف مواد أخرى الى شحنة الحديد الزهر بعد صبها فى المحول . ثم يتمت المحلول بعد ذلك فى وضع رأسى وعندئذ تنخفض أنبوبة تمويل الأكسجين وتضبط فوهتها النحاسية على ارتفاع معين من سطح الشحنة وبسمح للأكسجين بالاندفاع الى الحديد .

وتعتبر المسافة بين فوهة الأنبوبة وسطح الحديد من أهم العوامل التى تؤثر فى سبب عملية النفخ وظروف تكوين الحثب وكمية الحديد الضائعة وأيضا عمر الأنبوبة .

وفى البداية يندفع الأكسجين من فوهة الأنبوبة التى تكون على أقل ارتفاع حوالى ٧٠٠-٨٠٠ مم فوق سطح الحديد فى المحول ذى سعة

٢٥ طنا وبمعدل ٧٠-٨٠ م٣ من الأكسجين في الدقيقة وبهذا نضمن اعتدال الاحتراق \*

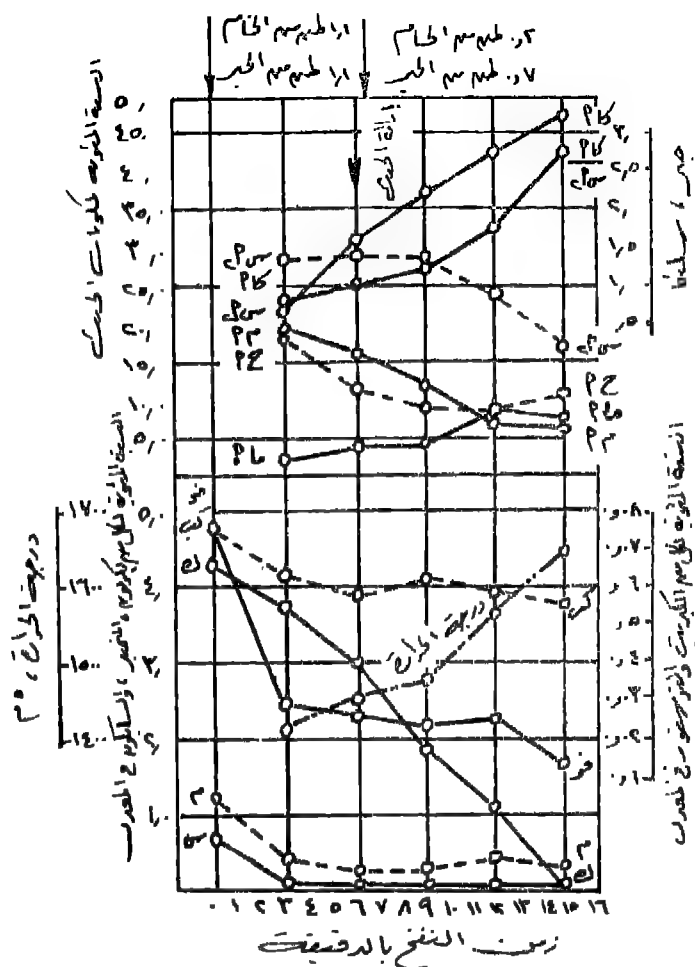
ويجب ألا تنخفض الأنبوبة أكثر من ذلك حتى لا تتاكل فوهتها سريعا اذ تتعرض لتأثير قطرات المعدن شديدة السخونة التي تتناثر عليها من منطقة التفاعلات فتستهلك في وقت قصير \*

وباختراق تيار الأكسجين لطبقات شحنة الحديد يتأكسد الحديد أولا الى أكاسيد الحديد التي تقوم بعد ذلك بأكسدة العناصر الأخرى كالسليكون والمنجنيز والكربون والفسفور ولكن جزءا من هذه العناصر الموجودة بمنطقة التفاعلات يتأكسد مباشرة بانحاده بالأكسجين \*

ونرى في شكل (٤٥) صورة نمطية لأكسدة الشوائب وتكوين الحثب لشحنة ٢٥٧ طنا من حديد زهر الافران المفتوحة تم تحويلها الى صلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين خلال فوهة اسطوانية الشكل قطرها ٤٢ مم \*

ففي خلال ثلاث دقائق من بدء النفخ يتأكسد كل السليكون متحولا الى سليكا ثم يتأكسد كل من المنجنيز والكربون والفوسفور في نفس الوقت وتميز هذه الطريقة عن النفخ بالهواء حيث يبدأ الفوسفور في الأكسدة فقط في فترة ما بين النفخ عندما ينخفض الكربون في الصلب الى ٤-٠.٥٪ في خلال الثلاث دقائق الأولى من النفخ عندما يأخذ كل من السليكون والمنجنيز في التأكسد بتأكسد الفوسفور بشدة بينما يكون معدل تأكسد الكربون في هذه الفترة أقل منها في الفترات التالية وفي هذه الفترة تكون كمية أكسيد الكالسيوم بالحثب غير كافية وتحدد الأكاسيد الحامضة كثنائي أكسيد السليكون وخامس أكسيد الفوسفور أساسا بالأكاسيد القاعدية كأكسيد الحديد وزو أكسيد المنجنيز وتتكون سليكات الحديد والمنجنيز (٢ ح ١ س ٢، ٢ م ١ س ١) وفوسفات الحديد (٣ ح ١ ف ٢ س ١) وتصل قاعدية الحثب بعد ثلاث دقائق من بدء النفخ الى ٧٧٪ وترتفع الى أكثر من الواحد الصحيح بعد ستة دقائق من النفخ ولذا تنخفض أكاسيد الحديد به

ويزال الحثب بعد ٦ دقائق ، ١٠ توان من بدء النفخ وكقاعدة يزال الحثب بعد خمس أو ست دقائق من بداية النفخ ٠٠ وقبل ابعاد الحثب الاساسى بدقيقة أو دقيقتين ترفع أنبوبة تمويل الأكسجين الى ١٠٠٠ -



شكل (٤٥) : يبين التغيرات الكيميائية التي تطرأ على كل من المعدن والخبث أثناء فترة النفخ

١٢٠٠ مم فوق سطح الحديد أو يخفض تدفق الأكسجين مدة ونصف أو مرتين وهذا يتيح لتفاعلات الأكسدة عند السطح أن تبدأ فتزداد أكاسيد الحديد في الخبث ويزداد حجمه مما يساعد على انسكابه عند إمالة المحول

وبأخذ هذه الاعتبارات يضاف أحيانا بعض خام الحديد قبل إزالة الخبث بدقيقة أو بدقيقتين بهذا تنتهي الفترة الأولى .

بعد إزالة الخبث الأصلي يضاف الجير وخام الحديد واليوكسيت الى المحول وتبدأ الفترة الثانية من فترات النفخ فتظل أنبوبة الأكسجين عند



وضعها العلوى لدقيقة أو دقيقتين حتى نزيد كمية أكاسيد الحديد في الحث فيذوب الجير بسرعة ثم تعاد بعد ذلك الى وضعها الأصلي حتى نهاية عملية النفخ .

وفي هذه الفترة ينفرد الكربون بعملية الأكسدة وتنخفض كثيرا كمية أكاسيد الحديد بالحث حيث يصل معدل أكسدة الكربون الى ٠.٣٥٪ في الدقيقة . وتعمل الزيادة في درجة الحرارة بين الدقيقة التاسعة والدقيقة الثانية عشرة على اخزال المنجنيز وقليل من الفوسفور .

ويعزى هذا الى انخفاض كمية أكاسيد الحديد بالحث .

وفي الدقائق الأخيرة من فترة النفخ عندما تنخفض نسبة الكربون في الصلب الى ٠.١٪ ترتفع كمية أكاسيد الحديد في الحث وهذه الأكاسيد بدورها تؤكسد المنجنيز والفوسفور فتتخفض مقاديرها باطراد كلما اقتربنا من نهاية النفخ للحصول على صلب منخفض الكربون .

وطول فترة النفخ ترتفع قاعدية الحث تدريجيا حتى تصل الى ٢.٧٢ عند نهاية النفخ وتعتبر بطانة المحول التي تتركب من الكرومجنيزيت المصدر الوحيد لأكسيد الماغنسيوم الذي يظهر في الحث .

وعادة يتغير التركيب الكيميائي للخبث الأصلي ( الذي يتكون خلال ٨-٦ دقائق الأولى من فترة النفخ ) في الحدود التالية ويرجع هذا التغير الى تركيب الحديد الزهر وظروف النفخ والاضافات الأخرى ( خام الحديد والجير والبوكسيت )

٢٧-٢٥	س أ ٢	جدول (٢٣)
٣٥-٣٢	كا أ	
١٣-١٢	كا:س أ ٢	
١٧-٦	ح أ	
١٦-١٠	م أ	
٥-٢.٥	لو ٢ أ ٣	
٥-٣	منغ ٢ أ ٣	

ونبعا لكمية الخبث الأول الذي تمت ازالته والاضافات المختلفه كالجير والخام والبوكسيت ، ظروف التشغيل ونسبة الكربون في الصلب الناتج يصير تحليل الخبث النهائي كما يأتي : -

٢٢ - ١٤	س ٢ أ
٥٠ - ٤٢	كا أ
٣٥ - ٢٥	كا أ : س ٢ أ
١١ - ٥	ح أ
١٤ - ٧	م أ
٧ - ٣	لو ٢ أ
٨ - ٤	مغ أ

### القواعد الخاصة لازالة الفوسفور

فى مستهل عملية النفخ العلوى بالأكسجين يتأكسد الفوسفور  
سريعا وفى الواقع انه لا يمضى أكثر من ثلاث دقائق من بدء النفخ حتى  
يتم تأكسد الفوسفور كله .

ويساعد على ذلك تكوين مصهور خبب الجير الحديدى ( أنظر شكل  
٢٥ ) وتتوقف نسبة الفوسفور بالصلب على كمية أكسيد الحديدوز  
الموجودة بالخبث فىقل نسبة الفوسفور بالصلب بزيادة كمية أكسيد  
الحديدوز بالخبث كما هو مبين بالجدول ٢٤ الذى تم اعداده بطريقة  
احصائية على عدد كبير من الصبات نفخت بالأكسجين النقى من أعلا  
فى محول سعة ٢٥٥ طنا وكانت نسبة الفوسفور بالحديد الزهر  
٠.١٪ .

ويمكن ازالة الفوسفور بسهولة برفع أنبوبة دفع الاكسجين وخفض  
ضغطه حتى يتأكسد الخبث جيدا كما أن إضافة خام الحديد تساعد على  
ازالة الفوسفور بنجاح .

النسبة المئوية لأكسيد الحديد في الجلب							
المجموع الكل النسب	١٥١	١٣١	١١١	٩١	٧١	٥١	نغاية ٥
٤٠٤٨	١٦١	١٦٣	٢٣٣	١٠٠٠	١٥٢٩	٦٨٠	١٨٢
١٩ر	٢١ر	٢٤ر	٢٦ر	٢٨ر	٣٣ر	٣٨ر	
عدد انصبات متوسط النسبة المئوية للفوسفور							

ويبين جدول ٢٥ مدى ارتباط نسبة الفوسفور في الصلب الناتج بقاعدة الخبث التي يحتوي على ٧ - ٩٪ من أكسيد الحديد ويحتوي الصلب على ١٤ - ٢٢٪ كربونا .

قاعدية الجلب					
٢٦	٢٥ - ٢١	٣ - ٢٦	٢٥ - ٢١	٢٠	لغاية
٦٤	٢٦١	٢١٦٠	٩٧٦	٢٥	عدد انصبات للفوسفور متوسط النسبة المئوية
٢٠٢	٢٠٢٧	٢٠٢٥	٢٠٢٢	٢٠١٧	

وبالتحكم في ظروف تشغيل النفخ يمكننا الحصول على صلب  
يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مهما كانت كمية الكربون به .  
فمثلا صلب القضبان الذى يحتوى على ٥٠ - ٣٧٪ كربونا تتراوح  
نسبة الفوسفور به بين ٠.٢٠ - ٠.٤٠ / و عادة ما يعصب الصلب الناتج  
من المحول خلال فتحة لمنع اختلاط الصاب بالخبث وذلك لنقله الى اخنزال  
الفوسفور وعودته ثانية الى الصلب .

### ازالة الكبريت من الصلب

يسبب فعل القصر للخبث فى اعاقه عملية ازاله الكبريت من  
الصلب ولهذا السبب يجب أن تكون كمية الكبريت فى الحديد الزهر  
فى حدود ضيقة جدا وبقدر الامكان ويزال الكبريت من الحديد الزهر  
بعد خروجه من الفرن العالى وقبل صبه فى المحول .  
وفى أثناء النفخ تنخفض كمية الكبريت بالصلب فى الدقائق  
الست الأولى ( انظر شكل ٤٥ ) ودرجة ازالة الكبريت خلال هذه الفترة  
تساوى

$$\text{درجة ازالة الكبريت} = \frac{100 \times (0.08 - 0.76)}{0.76} = 23.7\%$$

وبإضافة الجير بعد ازالة الخبث من المحول تزداد نسبة الكبريت  
ريادة طفيفة لاحتواء الجير على نسبة عالية من الكبريت ( ٠.٢٣٪ ) ثم  
ما تلبث هذه النسبة أن تنخفض ثانية ولا تتعدى درجة ازالة الكبريت  
النهائية ٢٦.٣٪ ولكي يزال الكبريت لدرجة كبيرة يلزم أن يكون  
الخبث ذا سيولة كبيرة وقاعدية عالية مع احتوائه على كمية اقل من  
أكاسيد الحديد كما تساعد الحرارة المرتفعة والتقليب الشديد للمعدن  
على ازالة الكبريت بنجاح وتنوافر هذه الظروف مجتمعة عندما يستخدم  
الاكسجين فى نفخ الحديد الزهر .

وبالرغم من ذلك تصادفنا أثناء ازالة الكبريت بعض المشاكل  
والصعاب نتيجة لتكون الخبث فى وقت متأخر ( عند نهاية النفخ )  
بالتركيب الكيمائى المطلوب أو لعدم الوصول الى درجة الحرارة العالية  
والتي تناسب هذه العملية .

وبعض مكونات الخبث لها تأثير فعال وقوى فى ازالة الكبريت  
ومن هذه المكونات السليكا وأكسيد الكالسيوم - قاعدية الخبث -  
وأكسيد المنجنيز .

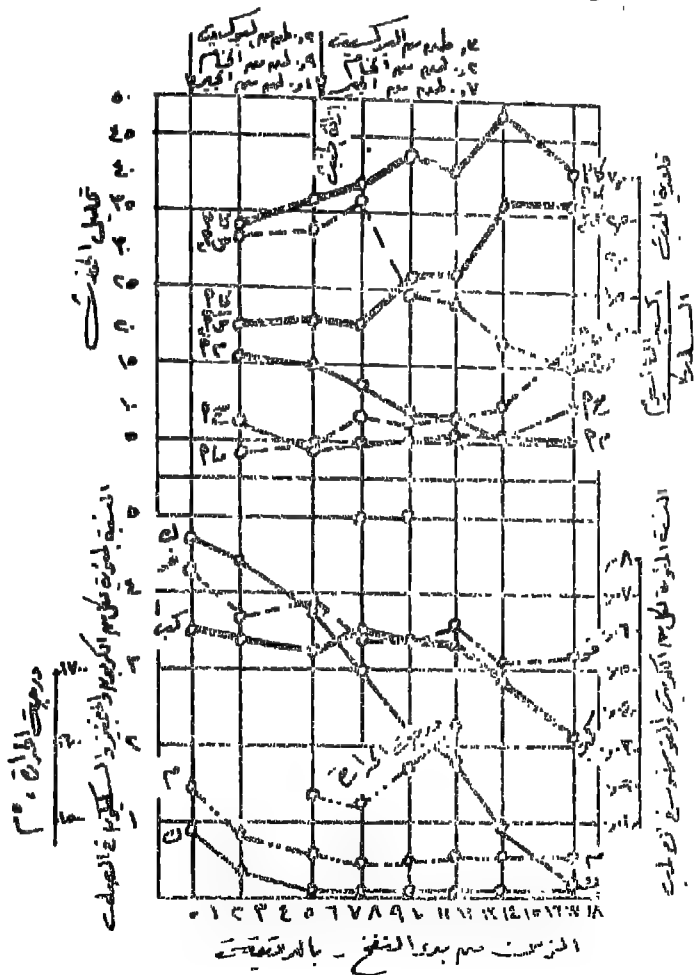
يبين جدول (٢٦) تأثير قاعدية الخبث على كمية الكبريت بالصلب  
ودرجة ازالته من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٠.٦ - ٠.٦٥٪ كبريتا،  
١٣٥ - ١٥٪ منجنيزا ، ٠.٦٪ سليكونا .



وبالرغم من ذلك فان درجة ازالة الكبريت عندما تصبح قاعدية الخبث ٢٦ - ٣٠ أى فى الحدود المألوفة ويرجع ذلك الى ارتفاع لزوجة الخبث مع ارتفاع قاعديته ويعطى الخبث ذو القاعدية ٢٦ - ٣ اذا كانت سيولته كبيرة - نتائج أفضل .

**التأثير الناتج عن اضافة البوكسيت والفلوريت اثناء ازالة الكبريت :**  
يعطى شكل (٤٦) فكرة عن التغيرات التى تطرأ على كل من الصلب والخبث لشحنه وزنها ٢٥٥ طنا بعد اضافة البوكسيت اليها وهذه البيانات توضح لنا ما يأتى :

١ - اضافة البوكسيت يسرع من تكوين الخبث وتتعدى قاعديته الواحد الصحيح وفى غضون دقيقتين و ١٠ ثوان ( بينما لا تتعدى هذه



شكل (٤٦) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من المعدن والخبث اثناء النفخ مع اضافة البوكسيت

انفاعلية ٧٧ وفي وقت يزيد عن ذلك بثلاث دقائق اذا لم يضاف البوكسيت الى الشحنة ( انظر شكل ( ٤٥ ) وبعد ٩ دقائق و ٣٣ ثانية تقفز القاعدية الى ١٧٣ و تصبح ٢٦٥ قبل نهاية النفخ بثلاث دقائق و ١٥ ثانية في وجود لو ٢ ٣١ بنسبة ٦٢ - ٥١٪ وكانت سيولة الخبث مرضية . وفي خلال هذه المدة تنخفض كمية الكبريت في الصلب من ٠٤٧ ر الى ٣٣٪ وبذلك تصبح درجة ازالة الكبريت الكلية ٤٥٪ وبدون اضافة البوكسيت يتكون الخبث بنفس القاعدية السابقة عند نهاية النفخ فقط ولا تنجح ازالة الكبريت بدرجة عالية ويحتوى مثل هذا الخبث على ٣٤٢٪ لو ٢ ٣ فقط .

٢ - يعرقل انخفاض نسبة أكسيد الحديد بالخبث من فاعليته في ازالة الفوسفور .

٣ - تزداد كمية الماغنيزيا ( أكسيد المغنسيوم ) في الخبث باسمرار وتبلغ هذه الزيادة ذروتها أثناء الدقائق الثلاث و ١٥ ثانية الأخيرة من فترة النفخ .

٤ - لا يكون لاضافة البوكسيت أى تأثير على تاكسد كل من السليكون والمنجنيز والكربون .

ويجب ربط كمية البوكسيت المضافة بنسبة السليكون الموجود بالحديد الزهر واذا كانت كمية السليكا بالخبث عالية عمل البوكسيت على زيادة السيولة فيزداد ناكل حراريات البطانة بالمحول . ويضاف البوكسيت بالطريقة الآتية فى أحد مصانع الصاب بالاتحاد السوفيتى : -

١ - اذا احتوى الحديد الزهر على عنصر السليكون لغاية ٠٧٪ وعنصر الكبريت لغاية ٠٧٪ وأضيف ٠٤٪ من البوكسيت أولا قبل النفخ ثم يضاف ٠٦٪ بعد ازالة الخبث أما اذا أضيفت كل الكمية دفعة واحدة قبل النفخ فانه يلزم اضافة البوكسيت بواقع ١٪ من وزن الحديد الزهر .

٢ - وفي حالة احتواء الحديد الزهر على عنصر السليكون لغاية ٠٥٪ وزيادة الكبريت عن ٠٧٪ يضاف ٠٨٪ بوكسيت قبل النفخ ثم يضاف ثانية ١٢ بعد ازالة الخبث .

٣ - اذا زادت نسبة السليكون بالحديد الزهر عن ٠٧٪ لا يضاف البوكسيت خلال الفترة الأولى من فترات النفخ بل يضاف أثناء الفترة الثانية بنسبة ١٪ .

وبتثبيت العوامل الأخرى فان درجة ازالة الكبريت تزداد باضافة البوكسيت كما فى الجدول التالى :

النسبة المئوية للكبريت في الحديد الزهر					
لغاية ٥٠ ر	٥١ ر - ٦٠ ر	٦١ ر - ٧٠ ر	٧١ ر - ٨٠ ر		
١٨٦	٢٥٢	٣١٨	٤١٦		درجة ازالة الكبريت باضافة ١/١ من الكبريت
١٣٦	٢١٩	٢٣٥	٢٩		درجة ازالة الكبريت بدون اضافة البوكسيت



ويلاحظ ان درجة ازالة الكبريت تزداد بارتفاع سمته في الحديد الزهر . من هذه البيانات يتضح أن اضافة البوكسيت تعمل على ازالة الكبريت من الصلب بسهولة كما تساعد على سرعة ذوبان الجير وتكوين خبث ذى سيولة عالية وقاعدية مناسبة .

ولضمان ازالة الكبريت بدرجة كبيرة يضاف الى الشحنة كميته من الفلوريت بمعدل ٥ كجم لكل طن من الحديد قبل ازالة الخبث الأول وتقل هذه الكمية الى ٢ كجم لكل طن اذا أضيف الفلوريت بعد ازالة الخبث . .

وفى هذه الحالة ترتفع درجة ازالة الكبريت الى أكثر من ٣٥٪ ، . انخفضت كميته بالحديد الزهر .٠٠ فنجد أنها تبلغ ٣٩٪ اذا احسوى الحديد الزهر على كبريت بنسبة ٠٣ر - ٠٥٣٪ مما يتيح أمامنا الفرصة لصناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على كبريت ٠٢٨٪ وبدون اضافة الفلوريت فان درجة ازالة الكبريت لمثل هذا النوع من الحديد الزهر لا يزيد عن ١٨٦٪ .

#### تأثير وجود اكسيد المنجنيز فى الخبث على كمية الكبريت فى الصلب :

يبين جدول ٢٨ تأثير اكسيد المنجنيز م أ فى الخبث على كميته الكبريت فى الصلب مع العلم بأن قاعدية الخبث ٢٦ر - ٣ ، ويحتوى الحديد الزهر على ٠٦ر - ٠٦٥٪ منه كبريتا .



يتضح من الجدول السابق أن ارتفاع نسبة أكسيد المنجنيز بالخبث تزيد من درجة إزالة الكبريت وباستبعاد الخبث الأول يستبعد جزء كبير من أكسيد المنجنيز عن المجموعة أولا يشترك في إزالة الكبريت من الصلب ويصبح المتبقى منه في الخبث الجديد ( بعد ضبطه ) ٦ - ٨ / ( انظر شكلي ٤٥ - ٤٦ ) وبهذا نتحقق درجة إزالة الكبريت المنشودة .

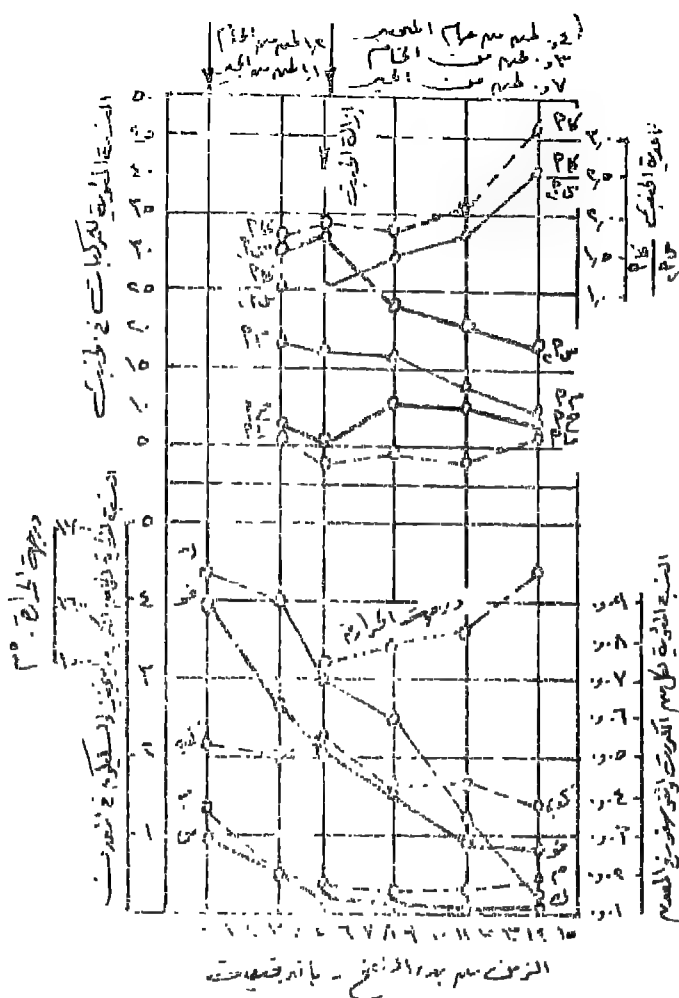
ولهذا السبب فانه لخفض نسبة الكبريت بالصلب يضاف الفيرومنجنيز الى المحول بعد ازالة الخبث لتعويض كمية أكسيد المنجنيز المفقودة مع الخبث .

### إضافة خام المنجنيز في المحولات

لرفع كمية أكسيد المنجنيز في الخبث يمكن إضافة الخام الغنى بالمنجنيز في المحول بعد ازالة الخبث الأصلي منه . ونرى في شكل (٢٧) سلوك شحنة أضفتم إليها خام المنجنيز بنسبة ١٦٪ من وزنها بعد أن تم استبعاد الخبث من المحول .

وبالرغم من وجود أكسيد المنجنيز بكمية كبيرة في الخبث نظرا لانخفاض قاعدية فان كمية الكبريت في الصلب لا تنقص قبل ازالة الخبث . وبعد ازالة الخبث ترتفع قاعدية الخبث في الوقت الذي تزداد فيه كمية أكسيد المنجنيز بإضافة خام المنجنيز مما يساعد على ازالة الكبريت فتتقص نسبته من ٥٥ر٠ الى ٤٢ر٠٪ ثم أخيرا الى ٣٨ر٠٪ .

ويلاحظ ارتفاع كمية أكسيد المنجنيز في الخبث النهائي لإضافة خام المنجنيز بعد اجراء عملية الخبث .



شكل (٤٧) : التغير في التركيب الكيميائي في كل من المعدن والخبث خلال فترة النفخ ، وذلك عند اضافة خام المنجنيز

كما يشاهد بالمقارنة من التذبذب الذي يطرأ على كمية أكسيد المنجنيز في الخبث باستخدام خام المنجنيز أو بدون استخدامه ( جدول ٢٩ ) .

النسبة المئوية لأكسيد المنجنيز في الخبث				
١٥	١٤ - ١٢	١١ - ٩	٨	النسبة المئوية لعدد الصيغيات : دون استخدام خام المنجنيز باستخدام خام المنجنيز
٦	١٠.٨	٧.٩٤	٩.٢	
٣.٠٤	٣.٩٢	٢.١٨	٨.٧	

وكقاعدة اذا لم يكن هناك اضافته من خام المنجنيز فان كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث تقع بين ٩ - ١١٪ أما اذا أضيف خام المنجنيز فان الفرق الكبير فى كميته يقع بين ١٢ - ١٥٪ .

وكثيرا ما يساعد وفرة أكسيد المنجنيز فى الخبث على ازالة التبريت من الصلب وقد لوحظ أن ٦٣٪ من الشحنتات التى أضيفت اليها خام المنجنيز فى الفترة الثانية قد احتوت فى النهاية على كبريت تصل نسبته الى ٠.٥٪ بينما لا يتعدى عدد الصببات بهذه النسبة من الكبريت عن ٣.٤٪ اذا لم النفخ بدون اضافة خام المنجنيز اليها .

ومن هذا ينصح ان اضافة الخام الغنى بالمنجنيز بعد الخبث الأول فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص وتحسن كثيرا من عملية التخلص من الكبريت .

وحتى نحصل على نتائج طيبة عند صناعة صلب ذى كبريت منخفض من الحديد الزهر بنفخه بالأكسجين الخالص يلزم لنا ما يأتى : ..

١ - اذا كان المطلوب عدم تعدى نسبة الكبريت بالصلب عن ٠.٤٪ فإنه يجب ألا يزيد نسبته فى الحديد الزهر عن ٠.٥٪ كما يجب ألا تقل نسبة المنجنيز عن ١٥٪ .

وإذا زادت نسبة الكبريت بالحديد الزهر عن هذه النسبة كان لزاما علينا التخلص منه فى البواشق بواسطة رماد الصودا ( صودا آش ) أو غيرها .

٢ - يراعى أن تكون سيولة الحبث عالىة وقاعدية مناسبة فى وقت مبكر بقدر المستطاع أى قبل الدقائق الخمس الاخيرة من فترة النفخ وبمساعدة على هذا اضافة البوكسيت .

٣ - يجب أن يحتوى الخبث فى الفترة الثانية على كمية كافية من أكسيد المنجنيز واطافة الخام الغنى بالمنجنيز كقيلة بتحقيق ذلك بعد التخلص من الخبث الأول .

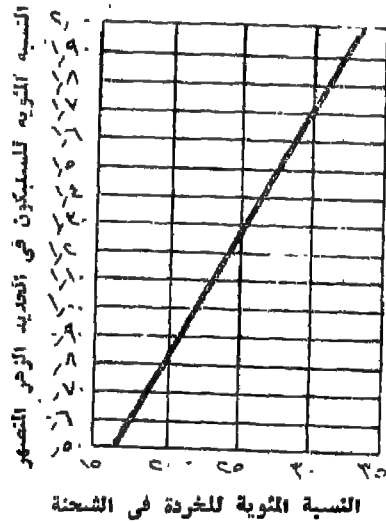
٤ - من الأهمية بمكان أن تكون درجة الحرارة عالية حتى نتخلص من الكبريت بنجاح .

### ضبط درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ

يتأثر عمر بطانة المحول بالتغيرات التى تطرأ على درجة الحرارة داخله كما تنعكس ظروف الحرارة على وجود المعدن وكمية الحديد الضائعة .

وبيعن الحديد الزهر بالاكسجين الخالص سوفر لدينا كمية كبيرة من الحرارة كانت نضيق مع النروجين الساخن فى حالة نفخ الحديد من أسفل المحول بالهواء فقط .

وقد وجد ان كمية هذه الحرارة الصائغة مع الغازات المتصاعدة من محولات بوماس وبسمر حيب ينم النفخ خلال القاعدة وبالهواء تبلى حوالى ٢٣ - ٢٩٪ وتنخفض هذه النسبة اذا ما نم النفخ بالاكسجين الخالص الى ٦ - ٨٪ وتسنغل الحرارة الفائضة فى صهر كمية كبيرة من الحردة أو خام الحديد وتتحدد هذه الكمية سلفا بمعرفة درجة الحرارة التى وصلت اليها الشحنة وكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر كما أن التشغيل المستمر للمحول يؤدى الى رفع درجة حرارة بطانة المحول ويعطى الفرصة لزيادة كمية المبررات المضافة ( الحردة والخام ) وفى شكل (٤٨) نرى العلاقة التى تربط بين كمية المبررات المضافة ومقدار السليكون بالحديد الزهر . ولما كان دور هذه الاضافات هو تبريد الشحنة لذلك فانها تضاف دون تسخين ، وفى الظروف التى تستخدم فيها النفايات الناتجة عن عمليات الدرفلة وغيرها - يراعى استغلالها بالكامل فى تشغيل المحولات .



شكل (٤٨) : بين العلاقة بين كمية الخردة المضافة ونسبة السليكون فى الحديد الزهر .

#### استخدام خام الحديد كعامل مبرد :

يضاف خام الحديد منفردا لأغراض التبريد قبل النفخ أو أثناء الفترة الثانية بعد التخلص من الخبث الاصلى . ويتحدد وزن الخام

المضاف بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر فيضاف بنسبة ٢ - ٣٪ إذا كانت نسبة السليكون ٠.٤ - ٠.٦٪ ويضاف بنسبة ٤ - ٨٪ إذا كانت نسبة السليكون ٠.٦ - ٠.٨٪ .

وقد يضاف الخام في الفترة الثانية بعد إزالة الخبث وعلى دفعة واحدة مع الجير والبوكسيت أو على عدة مرات طوال الفترة الثانية .

ولكن إضافة الخام دفعة واحدة فور إزالة الخبث لا تضمن تبريداً مناسباً كما ينبغي وإضافته كمية كبيرة من الخام سبب تبريداً للمعدن فور شحها وتوفر من اخزال الحديد . وعندما نشحن الشحنة بعد اضافته كمية الخام بدقة ونصف أو دقيقتين تبدأ تفاعلات بين الخام وعناصر الكربون الموجود بالمعدن مع تناثر المقذوفات الحديدية خارج المحول .

وبمقارنة إضافة الخام الى المحول في الفترة الثانية دفعة واحدة وإضافته على ثلاث دفعات متساوية بين كل دفعة والأخرى ٢ - ٣٥ دقيقة نجد أن الكفاءة الانتاجية في الطريقة الثانية قد ازداد بنسبة ١٥ - ٢٪ نتيجة لانخفاض كمية الحديد الضائعة كمقذوفات واختزال الخام عن آخره ، وانخفاض عدد الصببات التي تصل الى درجة التسخين المفرط فتبلغ حرارتها قبل صبها الى ١٦٥٠ درجة مئوية وبذلك تؤدي البطانة عدداً من الصببات أكبر .

من هذا تتضح المميزات العديدة الناتجة عن إضافة الخام على عدة دفعات .

وفي الفترة الاولى يضاف الخام وتغير كميته تبعاً لمقدار السليكون بالحديد الزهر وظروف التشغيل ويكون في حدود ٧٠٠ - ١٢٠٠ كجم ويزال الخبث بعد ٥ - ٦ دقائق من عملية النفخ ثم يقوم العامل بإضافة خليط الخام والجير والبوكسيت بوزن ٣٠٠ - ٦٠٠ كجم ويترك تقدير كمية الخام للملاحظ الذي يقوم بمراقبة العملية ويكون التقدير على أساس درجة الصببة بعد إزالة الخبث إذا قيس أو على درجة حرارة الصلب النهائية للصببة السابقة .

### استخدام الماء في التبريد :

نخفض درجة حرارة الشحنة إضافة الخام خاصة إذا أضيفت على عدة دفعات وفي بعض الأحيان يستخدم الماء لتبريد الشحنة وبذلك يقل تأثير الحرارة الشديدة على بطانة المحول ويستخدم الماء رذاذاً بواسطة



تيار الأكسجين الذى يوجه الى محطة السفاعلات ويردها ، وفى احدى وحدات صناعة الصلب يدفع الماء الى المحول سعة ٢٥٥ طن بعد بدء النفخ بدقيقة وبمعدل ٢٥ - ٥٠ لتر كل دقيقة لمدة دقيقتين ويقوم الملاحظ بتحديد كمية الماء تبعا للظروف الموجودة .

وفى الفترة النانية يصبح معدل سريان الماء ٢٠ - ٤٠ لترا/دقيقة لمدة ست دقائق ويبدأ دفع الماء بعد ضبط الخبث وبعد خفض أنسوبة النفخ اى بعد دقيقة أو دقيقتين من بدء النفخ فى الفترة الثانية .

وقد تزداد مدة سريان مياه التبريد ولكن يجب ألا يتأخر إيقاف سريانها قبل نهاية النفخ بدقيقتين وعلى وجه العموم فإن كمية المياه اللازمة لتبريد الشحنة تنحصر بين ١٨٠ - ٣٠٠ لترا .

ومن حجرة المراقبة يقوم الملاحظ المختص بتنظيم معدل سريان المياه وغيرها من الأعمال الملحقة بها . وبواسطة عمليات التبريد هذه تنخفض نسبة الشحنات ذات التسخين المفرط حيث تبلغ درجة حرارتها ١٦٧٠ درجة مئوية فأكثر فتبلغ النسبة من ٢٩ الى ٧٨٪ كما يزداد أداء البطانة لعدد كبير من الصبات فيزداد عمرها ١٥ - ٢٠٪ .

ولكن استعمال المياه لأغراض التبريد لا يخلو من بعض العيوب :

١ - يساعد على فقد كمية هائلة من الحرارة لتصعيد الماء ، كان من الممكن الاستفادة منها لاختزال كمية من خام الحديد وصهر مقدار من الخردة .

٢ - شدة التناثر ( القذف ) خارج المحول نتيجة لتأثير الماء المؤكسدة على الشحنة .

٣ - لا يمكن استعمال الماء كعامل مبرد فى صناعة الصلب الكربونى اذ أن استعمالها يؤدى الى ارتفاع نسبة الهيدروجين فى الصلب مما يتسبب فى ظهور العيوب الطبقية به .

وفى حالة عدم اضافة الخردة فانه لتبريد الشحنة يجب اضافة الخام والنفايات المعدنية على عدة مرات تنظم بحيث تشمل الفترة الثانية فلها ويجب أن تنتهى الاضافات قبل نهاية النفخ بدقيقتين أو ثلاث ويمكن تبريد الشحنة لدرجة كافية باضافة قوالب الحجر الجيرى .

### قياس درجة حرارة المعدن :

من الأمور التى يجب مراعاتها قياس درجة حرارة المعدن بانتظام من وقت لآخر ويتم ذلك بغمس ازدواج حرارى فى المعدن فيعطى درجة الحرارة المباشرة وبهذا نعمل على تنظيم الحرارة طوال مدة النفخ .

وفى حالة ازاله الخبث الاول فانه يحسم قياس درجة الحرارة خلال هذه الفترة وبمعرنة درجة الحرارة المقاسة يتمكن الملاحظ من تقدير كمية الاضافات التى يجب اضافها لتبريد الشحنة فى الفترة الثانية .

وينوقف درجة حرارة المعدن على التركيب الكيميائى للحديد الزهر فادا فيست بعد ازالة الخبث بعد ٨ - ١٠ دقائق من بدء النفخ فانها تتراوح بين ١٥٦٠ - ١٥٨٠ درجة م كما ان درجة حرارة الحديد الزهر عند سحبه فى المحول وكمية خام الحديد النى يضاف قبل النفخ لها تأثير فى درجة الحرارة المقاسة . ونصل درجة الحرارة ١٥٠٠ - ١٥٥٠ درجة مئوية اذا قيسست بعد ازالة الخبث الاول بعد ٥ - ٦ دقائق من بدء النفخ .

وعادة تصل درجة حرارة الصلب عند صبه من المحول الى ١٦١٠ - ١٦٥٠ درجة مئوية ( كل القياسات قد أخذت بواسطة الازدواج الحرارى من التنجستن والمولينيوم ) ولصب الصلب عند درجة حرارة منتظمة اهمية كبيرة اذ يقلل لنا الحصول على كتل ذات جودة عالية ولهذا فانه من الاهمية بمكان قياس درجة الحرارة على فترات منتظمة .

ولاشك فى أن اليسر والسهولة فى قياس درجات الحرارة بسرعة ودقة كافية من الأمور التى يجب أن نهتم بها .

ويجرى تبريد جهاز قياس درجة الحرارة بالماء لحمايته من التلف ولقياس درجة الحرارة يدار درع الجهاز حتى يقلل فوهة المحول وبعد اخذ درجة الحرارة يزاح الدرع جانبا حتى لا يعوق العمل .

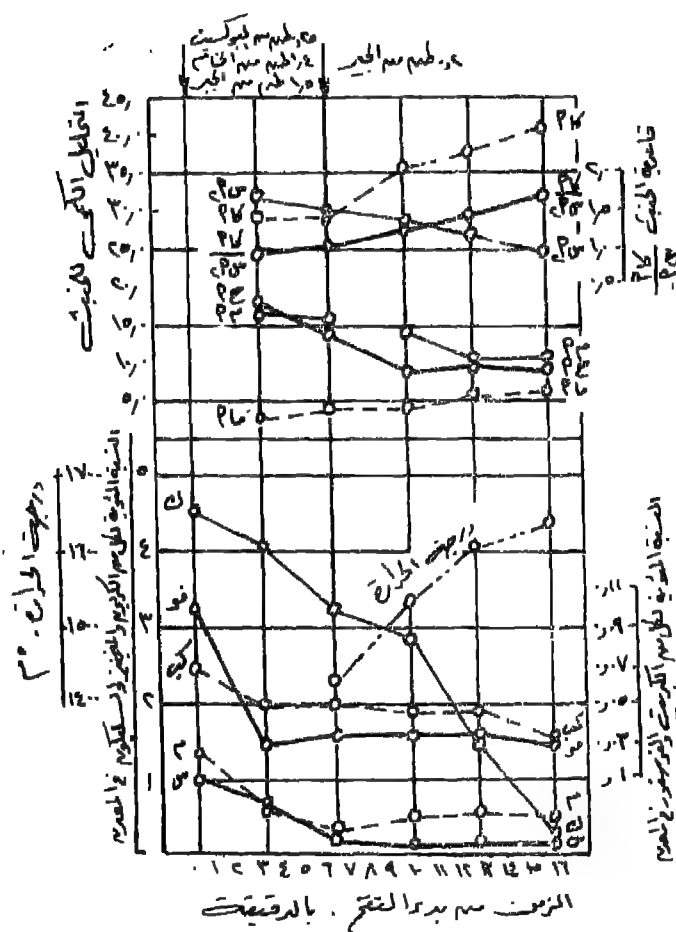
## ٨ - الطرق المختلفة للنفخ بالاكسجين من اعلا

### التشغيل دون ازالة الخبث الاصلى :

تتطلب ازالة الخبث الذى يتكون أولا عددا من العمليات الاضافية التى تستغرق من ١٥ - ٢٥ دقيقة وفى هذه الحالة يوقف دفع الاكسجين وترفع أنبوبة نسليط الاكسجين عن المحول ثم بامالة المحول ينسكب الخبث وبعد ذلك يعاد وضع المحول وتنخفض الأنبوبة ويستأنف النفخ ثانية . وبهذه الطريقة يفقد كثير من المعدن مع الخبث كما يفقد بعض منه نتيجة لامالة المحول .

وقد لا يزال الخبث فى صناعة الصلب ذى الكربون المنخفض اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور بنسبة ١٥٪ كحد اقصى حتى تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب الناتج .

وفي شكل (٤٩) نرى التغيرات التي تطرأ على تركيب كل من المعدن والخبث طوال فترة النفخ لشحنة احتفظت بالخبث المتكون دون ازالة الخبث الأول ، حيث صبت شحنة وزن حوالى ٢٥٦ طنا ، وقد أضيفت إليها جميع المواد المنفصلة قبل بدء النفخ بست دقائق ، ٢٥ ثانية .



شكل (٤٩) : تغير التركيب الكيميائي في كل من المعدن والخبث أثناء النفخ دون ازالة الخبث الاصل

وتكفل لنا عدم ازالة الخبث الاولى درجة عالية من التخلص من العوسفور والكبريت وبنفس الطريقة التي يتكون بها الخبث الثاني يتكون الخبث في هذه العملية .

ويعزى انخفاض قاعدية الخبث النهائي الى ارتفاع نسبة السليكون  
فى الحديد الزهر .

ولوفرة أكسيد الحديدور خلال ٦٥ دقائق الاولى من النفخ تأثير  
كبير فى ازالة الفوسفور ويساعد أكسيد المنجنيز على التخلص من  
الكبريت بدريجا حتى نحصل فى النهاية على صلب ذى درجة عالية  
من المقاومة . وقد أثبتت سنوات طويلة من الخبرة صلاحية هذه الطريقة  
لصنع الصلب القوارضى النسبة المنخفضة من الكربون دون ازالة الهب  
الاولى .

وفى أحد المصانع تحقق الآتى نتيجة لعدم ازالة الخبث الأولى :

- ١ - ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .
- ١ - ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج لانخفاض نسبة الضائم  
من المعدن أثناء ازالة الخبث بحوالى ٠.٥٪ .
- ٢ - قصر مدة النفخ بحوالى ١ - ٢ مما يزيد من السعة الانتاجية  
للمحول .
- ٣ - زيادة طفيقة فى نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ولكنها على  
وجه العموم أقل من ٠.٤٪ .
- ٤ - احتفاظ المحول بأعمار بطانته المقدرة .

### التشغيل باستعمال قوالب الخام والحجر الجبرى :

نحل قوالب الخام والحجر الجبرى فى الاستعمال محل الخام والجبر  
للاسرار فى تكوين الخبث وتنظيم درجة الحرارة اذ أن اختزال أكاسيد  
الحديد وتحلل الحجر الجبرى تستنفذ كمية هائلة من الحرارة .

وتضاف هذه القوالب الى المحول اما قبل شحن الحديد الزهر به واما  
أثناء عملية النفخ واستنادا الى كمية أكسيد الكالسيوم بهذه القوالب فانه  
يتحدد الموقف فاذا لم تكن هذه الكمية كافية كان لزاما علينا اضافة كمية  
أخرى من الجبر حتى نعوض النقص فى المواد الصهارة .

ويعطينا جدول (٣٠) النتائج التى تحصل عليها من جراء العمل  
باستعمال قوالب الخام والحجر الجبرى وباستعمال الخام والجبر .

### التحليل الكيميائي للقوالب كما يأتي :

٣ ر ٣	سأ ٢
٣٥ر٤٥	كا ١
٣٢ر٤٤	ح ٢ أ ٣
٧٢ر	منغ
٩٥ر	أو ٢ أ ٣
١٩ر	م أ
٦ ر ٠	ح أ
٠٣ر	غو



وكقاعدة يمكن أن يقال أن جميع الصبات التي أضيفت إليها قوالب  
الخام والحجر الجيري تكون ذات حرارة منخفضة إذ تشكل الصبات ذات  
الحرارة العالية نسبة ٤٪ منها في حين تبلغ النسبة ١٠٪ باستعمال  
الخام والجير ٠٠ ولعل أهم السمات التي تختص بها الصبات المضاف إليها  
هذه القوالب هو سرعة تكوين الخبت السائل ذي القاعدة الكافية .

ويوضح جدول (٣١) التركيب الكيميائي للخبث مأخوذة لصبتين  
بمد ٣ ، ٥ دقائق من بدء النفخ .

جسول (۳۱)

التركيب الكيميائي للنجف /٠									
عدد الصبات	زمن أخذ العينة بعد بدء النفخ ( دقيقة )	سـ	كـ	كـ سـ	مـ	حـ	خـ	أـ	لـ
١	٢٥	٢٢٧٦	٢٢٥٢	١	٢٨٧	٣٧٨	١٨	٢٠٥٢	—
٢	٢	٣١٧٨	٢٢٥٧	١	٢١٢	٧٠٠	١٦	٢١٦٩	٢١٨٠
٥	٥	٢٠٣٣	٢٥٠٤	١١٥	٢٢٨	٦٤٨	٨٧	١٨٥٦	٢٦٧



وإذا أخذنا متوسط التحاليل لعدد من الصبات التي نستعمل فيها هذه القوالب نجد أنها لا تختلف عن تلك التي يستعمل فيها الخام والجير ونفس الشيء يقال بالنسبة لكل من الكبريت والفوسفور إذا احتوت هذه القوالب على ٣٥٪ فأكثر من أكسيد الكالسيوم فإنه لا يكون هناك حاجة لاضافة الجير حتى تصح قاعدية الخبث مناسبة .

كما سبق نجد لهذه القوالب دورا هاما في تنظيم درجة حرارة الشحنة ولقد وجد أنه بزيادة الاضافات ٢٠٠ - ٣٠٠ كجم من القوالب التي تحتوى على ٣٥٪ كا أ ( حجر جيرى ) ، ٤٤٪ ح ٢ ، ٩٪ ح أ تنخفض درجة الحرارة قبل الاختزال من ٢٠ - ٢٥ درجة م ( متوسط استهلاك القوالب ٢٣٠٠ كجم لكل شحنة وزنها ٢٢ طنا ) .

وإذا اكتفينا بأضافة القوالب فقط دون اضافة الجير فان عدد الصبات ذات الحرارة الشديدة ( فوق ١٦٥٠ درجة م ) لا يزيد عن ٥٪ فقط من العدد الكلى بينما لا تقل هذه النسبة عن ٣٠٪ فى حالة عدم استخدام هذه القوالب ولنفس الحديد الزهر .

ويمثل شكل (٥٠) العلاقة بين كمية كل من الكبريت والفوسفور المتبقى فى الصلب وقاعدية الخبث فى حالة استبدال الخام والجير بالقوالب . وبهذا الاستبدال نحصل على المميزات الآتية :

١ - سرعة تكون الخبث .

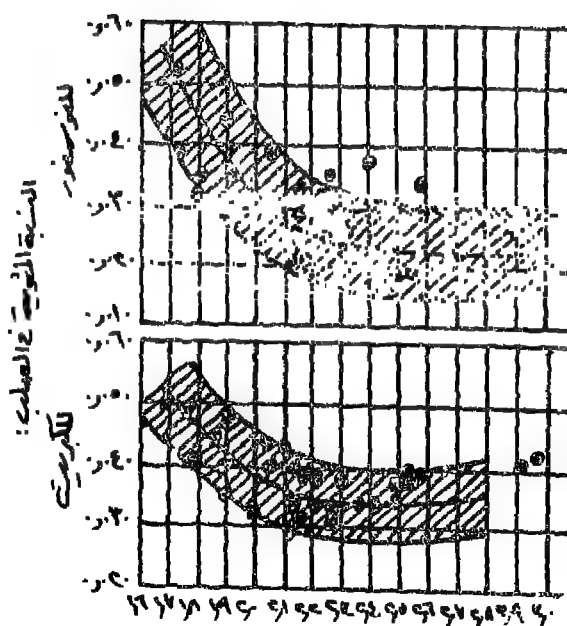
٢ - تحقيق قاعدية الخبث المطلوبة مع قلة كمية الاضافات المكونة له الامر الذى يؤدي الى صغر حجم الخبث .

٣ - ارتفاع سيولة الخبث دون اضافة البوكسيت او اضافة جزء ضئيل منه .

٤ - زيادة الكفاية الإنتاجية للصلب بسبب قلة الفاقد فى الخبث السائل .

٥ - تبريد الشحنة باستغلال جزء من الحرارة فى تحليل الحجر الجيرى .

٦ - انعدام وجود الجير الناعم .



شكل (٥٠)

#### اعادة استخدام الخبث المتخلف عن الصبة السابقة :

من المفيد علميا ان تبقى بالمحول بعض الخبث الناتج عن الصبة السابقة ويستغل هذا الخبث للاسراع فى تكوين الخبث والاقتصاد فى استهلاك الجير .

وفى هذه الحالة يضاف الى المحول ثلاثة ارباع (٧٥٪) الكمية المعتادة من الجير وخام الحديد بعد شحن الحديد الزهر به ثم يبدأ النفخ بالطريقة المألوفة .

ولقد اثبتت هذه الطريقة نجاحا مؤكدا فيتكون الخبث سريعا وبالقاعدية المناسبة ٠٠ وفيما يلى نظام تقريبي لتكوين الخبث عندما تبقى بالمحول ٢ طنا من الخبث السابق ، تركيبه الكيميائى كالاتى :

١٨٩١

٤٤٦٥

٢٢٣٦

١٠١٠

١٠٢٨

١٩٩٤

س آ ٢

كا ١

كا أ : س أ ٢

ح ١

م أ

ح ٢

ويشحن الى المحول الحديد الزهر الذى يزن ٢٥٥ طنا وتركيبه  
الكيميائى هو :

٣ ر ٤

٦٨ ر

٥٢ ر ١

٠٦٣ ر

٠٩٨ ر

٠٠٥٦ ر

ك

س

م

كب

فو

ن

ثم يضاف بعد ذلك ١٠٠٠ كجم من خام الحديد ، ٩٠٠ كجم من الجير  
( بدلا من ١٢٢٥ كجم ) ، ١٠٠ كجم من البوكسيت وينتظر مدة ٥ دقائق  
بعد بدء النفخ ثم يزال الخبث وعندئذ يضاف ثانية ٤٠٠ كجم من الخام ،  
٥٠٠ كجم من الجير .

[illegible]

ويوضح جدول ٣٢ التغييرات التي تطرأ على تركيب الخبث اثناء النفخ وقد كانت درجة ازالة الكبريت ٤٠٪ ، ودرجة ازالة الفوسفور حوالي ٨٠٪ ( في صناعة الصلب الفوارذي الكربون المنخفض ) .

يشحن الحديد الزهر الى المحول الذي به جزء من الخبث المتخلف عن الصبة السابقة مع تنائر بعض الخبث والحديد الزهر خارج المحول .

وكقاعدة فانه من الممكن ملاحظة هذه الظاهرة بعد الصببات التي تحتوى على نسبة صغيرة من الكربون لغاية ٠.٧٪ ( فترة ما بعد النفخ ) ويحتوى مثل هذا الخبث على كميات وفيرة من أكاسيد الحديد التي تتفاعل بشدة مع الكربون الموجود بالحديد الزهر .

ومما هو جدير بالذكر أنه باستخدام الخبث المتخلف عن الصببات السابقة يجب ازالة الخبث المتكون أولا وأكبر من ذلك فان ضخامة حجم الخبث في المحول سوف تؤدي الى زيادة قذف الحديد خلال الفترة الثانية .

### ظروف النفخ

تؤخذ العوامل الآتية في الاعتبار عند تحديد ظروف التشغيل «النفخ» حجم المحول النوعي ، وقابلية البطانة للاسمرار في التشغيل ، وفترة تكون الخبث ، ومقاومة الطرف النحاسي لأنبوبة الأكسجين ، وكمية القذف وترتبط مدة النفخ بمعدل دفع الأكسجين فتقل بزيادة كمية الأكسجين المندفعة بالمحول فمثلا اذا كان دفع الأكسجين تحت ضغط يعادل ١٠ ضغطا جويا ( مقاسا بقياس الضغط ) وزاد معدل سريانه من ٦٠ الى ٦٥ - ٧٠ م٣/دقيقة لشحنة من الحديد الزهر وزن ٢٠ طنا في محول حجمه ١٦ م مكعب تنخفض مدة النفخ دقيقة ، ٨ ثوان .

ويعادل هذا الانخفاض في الوقت ١٠٪ من الوقت الكلي . وفي المتوسط فان مدة النفخ لشحنة الحديد الزهر التي وزن ٢٥٥ طنا في محول حجمه ٢٠ م٣ تبلغ ١٦ دقيقة و ٢٠ ثانية اذا كان معدل سريان الأكسجين ٧٠ - ٨٠ م٣/دقيقة .

ويجب ألا يغيب عن الحسبان أن لهذا المعدل حدا أقصى فكلما زاد معدل دفع الأكسجين زاد قذف المعدن خارج المحول مما يترتب عليه نقص في الكفاءة الانتاجية له ويتيح لنا الكبر النوعي لحجم المحول فرص دفع الأكسجين بمعدل أكبر .

ولقد وجدنا عمليا أن ضبط وضع أنبوبة دفع الأكسجين فوق سطح المعدن يكفل لنا المعدل المطلوب وتكوين الخبث وأيضا المحافظة على الأنبوبة .

وفي العادة ينبت ارتفاع الأنبوبة بحوالى ٧٠٠ - ٨٠٠ مم عن سطح المعدن في محول سعته من ٢٠ - ٤٠ طنا وعند ضبط الخبث فى نهاية الفترة الأولى وبعد إضافة الجير ترفع الأنبوبة الى ١٠٠٠ - ١١٠٠ مم فوق سطح المعدن وتظل عند هذا الارتفاع لمدة دقيقتين .

ومن البديهي أنه بتتابع عملية النفخ تتآكل بطانة المحول باستمرار مما يؤدي الى زيادة حجم المحول ونتمكن من زيادة الشحنة ( الحديد الزهر بالمحول ) وفى هذه الحالة لا يتغير ارتفاع أنبوبة الأكسجين عن سطح المعدن .

وقد تتدخل بعض الاعتبارات الخاصة فلا نتمكن من زيادة وزن شحنة الحديد الزهر بالمحول بالرغم من ناكل بطانة المحول بصفة مسهورة وفى هذه الحالة يجب خفض ارتفاع الأنبوبة حتى نحافظ على المساحة بينها وبين سطح المعدن ثابتة دائما .

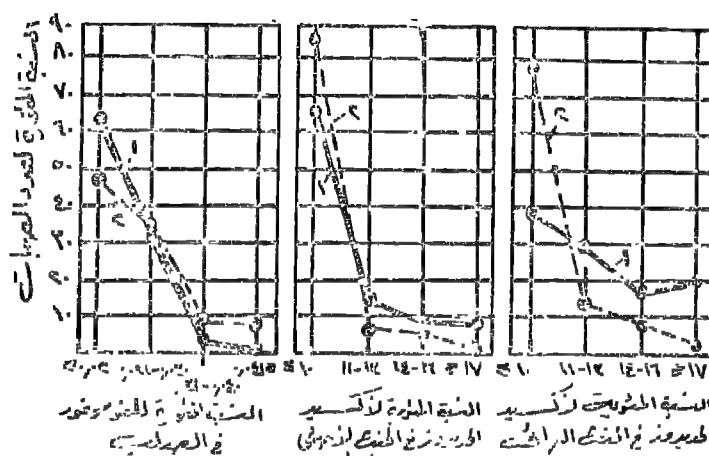
ويتأثر بدرجة ملحوظة عملية النفخ بحجم وشكل الفوهات التى يندفع خلالها غاز الأكسجين الى المحول وبهذا يجب مراعاة أن يطابق ضغط الأكسجين عند خروجه من فوهات الضغط المطلوب مع تحقيق نفس المعدل .

وإذا أنخفض معدل الأكسجين فإنه ينبت قطر الفوهات ينقسم ضغط تيار الأكسجين وتقل تفاعلات الأكسدة عند سطح المعدن وبذلك تطول مدة النفخ عندما يسلط الأكسجين بواسطة الفونية ذات الاختناق ويحتوى الخبث على وفرة من أكاسيد الحديد مما يساعد على سرعة ذوبان الجير ويكون الخبث بالقاعدية المطلوبة مبكرا وبذلك يزال الفوسفور بنجاح .

ولهذا أهميته الكبرى فى صناعة الصلب الكربونى وفى شكل (٥١) نرى بياناً التغيير الذى يطرأ على كمية الفوسفور بالصلب وكمية أكاسيد الحديد فى الخبث الأولى والنهائى عند نفخ الحديد الزهر ذى تركيب ( نمطى ) وقد استعملت فيه طريقة النفخ بنوع خاص من الفونيات بالطريقة الاسطوانية مع تثبيت كل من : - معدل الأكسجين ، وضغطه ، وارتفاع الأنبوبة عن سطح المعدن .

وتشير البيانات الى أن الخبث يكون أكثر تأكسدا باستعمال هذا

النوع الخاص من القونيات هذا الى أنه باندفاع الأكسجين خلال الاخذناق الموجود بالأنبوبة يؤثر على مساحة كبيرة من سطح المعدن فيتكون كدبر من أكسيد الحديدوز ولهذا فان درجة ازالة الفوسفور تكون عالية .



شكل (٥١) : تدبب ( تغير ) نسبة الفوسفور في الصلب ، وأكسيد الحديدوز في الخبث الأصلي والخبث النهائي

وتتوقع مقدما أن زيادة سمك طبقة الخبث تفقد تيار الأكسجين جزءا كبيرا من الطاقة المركبة فتقل سرعته ولا ينفذ الا لعمق صغير وعلمه تفكش منطقة التفاعلات ويهبط معدل تأكسد الكربون . فتزداد أكاسيد الحديد بالخبث ويتكون الخبث الفعال سريعا .

ومن الناحية الأخرى سرعان ما يمتص هذا الخبث الأكسجين الذي يستقله في أكسدة الحديد المحجوز به مما يضادف من أكسدة الخبث . ومن هنا يتضح أن لزيادة سمك طبقة الخبث نفس التأثير لزيادة المسافة بين الأنبوبة وسطح المعدن .

## نفخ الحديد الزهر الفسفوري بالأكسجين

### من أعلا

انتشرت صناعة الصلب بنفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا انتشارا واسعا ويجرى النفخ في محولات ذات بطانة قاعدية ويحتوي الحديد الزهر الذي يحتوي على نسبة عالية من الفوسفور الى صلب

باستخدام هذه الطريقة ، وبانخاذ بعض الاجراءات الخاصة فى النفخ أثبتت هذه التجارب نتائج ايجابية طيبة .

بضبط وضع الأنبوبة فوق سطح المعدن ، ومعدل اندفاع الأكسجين وضغطه بحيث ينخفض معدل تأكسد الكربون فتزداد تبعا لذلك كمية اكاسيد الحديد بالخبث ويذوب الجير فيه سريعا .

وإذا اندفع تيار الأكسجين بسرعة معتدلة يوجه معظمه الى الخبث وفى هذه الحالة تتأخر أكسدة الكربون وتصبح الظروف ملائمة لازالة الفوسفور جيدا .

ومما تجدر ملاحظته فى العمالية السابقة أن نيار الأكسجين لا يكون له أى اتصال مباشر مع المعدن ولذلك تزال الشوائب مع الخبث اذ يؤثر تيار الأكسجين على الخبث الذى بدوره يؤثر على المعدن .

ولتحقيق ما سبق يجب أن يكون تيار الأكسجين عريضا باختيار الضغط مباشرة عليها ٠٠ لذا فإن كمية النتروجين الممتصة فى الصلب لا تتوقف أساسا على درجة نقاوة الأكسجين ويزال الفوسفور بنفس المعدل الذى يتأكسد به الكربون .

يدفع الأكسجين تحت ضغط منخفض ورفع الأنبوبة بعيدا عن سطح المعدن فيتأكسد الفوسفور بمعدل ٠.٢٪ فى الدقيقة بينما يكون هذا المعدل ٠.٧٪ فى الدقيقة اذا كان ضغط الأكسجين عاليا والأنبوبة على ارتفاع صغير من سطح المعدن .

وتعتبر كمية أكاسيد الحديد فى الخبث ومعدل أكسدة الكربون من العوامل الحوية ( الأساسية ) لازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأهمية بمكان ألا يتعدى معدل أكسدة الكربون عن ١.٢٥٪ فى الدقيقة وقد يزداد هذا بعد ازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأمور البالغة الأهمية أن نأخذ فى الاعتبار الكبر النسبى فى حجم المحول النوعى حيث يشتد قذف المعدن خارجه نتيجة لازدياد عمليات التأكسد .

ويمكن أن يقل القذف اذا لم يزد عمق السطح الخالص للمعدن عن ٤٠٠ مم ومع هذا فان الكفاية الانتاجية للصلب الناتج بهذه الطريقة تكون أقل من تلك لمحولات توماس المعنادة فكلما زادت نسبة أكسـيد الحديدوز فى الخبث بمقدار ٤٪ قلت الكفاية الانتاجية بما يساوى ١٪ وتستمر بطانة المحول لنفخ ٨٠ - ١٠٠ شحنة ويلاحظ أن مدة النفخ تكون أطول ٤ مرات عن مدة النفخ السفلى بالهواء .



وقد أمكن التغلب على الصعوبة الرئيسية التي تصادفنا عند نفخ الحديد الزهر ذى الفوسفور المرتفع فأجريت التجارب لنفخ هذا الحديد باستخدام ثلاث أنابيب لدفع الأكسجين بدلا من واحدة ووضعت هذه الأنابيب متماثلة على محيط فوهة المحول وبهذا يصبح الأكسيد أكثر انتظاما . ومن الممكن استغلال احدى هذه الأنابيب لأكسدة الكربون بينما تستغل الأخرى لآزالة الفوسفور ويجرى نظام التشغيل كما يلي : -

تنخفض الأنابيب أولا الى مسافة ٣٠٠ - ٥٠٠ مم عن سطح المعدن ثم يبدأ النفخ لمدة ١٠ دقائق ( لشحنة وزن من ٧ - ١٠ طن ) يضاف أثناءها كميات صغيرة من الجير الى الشحنة وبعد ذلك ترفع الأنابيب الى ارتفاع ٦٠٠ - ١٠٠٠ مم وتبدأ ازالة الفوسفور وفي خلال ثمان دقائق تنخفض نسبة الفوسفور الى ٠.١٪ بينما كان يصل في البداية حوالى ١.٧ - ٢.٠٪ وتصبح نسبة الكربون ٠.٥٪ عندئذ يزال الخبث المتكون ويضبط الخبث الجديد ثم تنخفض أنبويتان فقط لاتمام أكسدة الكربون بينما تظل الثالثة كما هي : -

وتستغرق كل هذه العمليات حوالى ٢٥ دقيقة بحيث يتم فى النهاية أكسدة الفوسفور تماما فى نفس الوقت مع الكربون .

وقد طبقت الطريقة السالفة الذكر فى عدة تجارب أجريت على شحنات من الحديد الزهر الفوسفورى بين ٤ - ٤.٥ طنا وكان الصلب الناتج محتويا على نسبة من الفوسفور أقل من ٠.٣٪ وغالبا كانت هذه النسبة أقل من ٠.٢٪ وكانت نسبة النتروجين ٠.٢ - ٠.٠٦٪ ويجب مراعاة ألا يقل حجم المحول النوعى عن ٣م/طن من الشحنة ويفضل أن يكون هذا الرقم بين ١.٢ - ١.٥ م مكعب طن حتى ننفادى شدة القذف اذا كان الخبث غنيا بأكسيد الحديدوز .

وبالرغم من المزايا التى تتمتع بها هذه الطريقة فانها لا تخلو من بعض العيوب منها التباطؤ فى أكسدة الكربون طول فترة النفخ وقصر عمر البطانة .

وقد لا يحتاج الى ازالة الخبث عند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الفوسفور لغاية ٠.٥٪ وبمقارنة نفخ الحديد الزهر ذا الفوسفور المنخفض والحديد التوماسى بالأكسجين من أعلا فى نفس المحول نجد أن مدة نفخ الأخير تزداد بمقدار ١٢ دقيقة بينما ينخفض الانتاج اليومى من ١٣٢٠ طنا الى ٩٦٠ طنا ويرتفع استهلاك كل من الخام والجير وفى نفس الوقت ينخفض معدل عمر البطانة من ٢٥٠ - الى ١٦٠ صبه وعندئذ يصبح الصلب الناتج باهظ التكاليف .

ولقد أكدت التجارب التي أجريت في الاتحاد السوفيتي أنه  
بالإمكان انتاج الصلب المطاوع الفوار الذي يحتوى على فوسفور لا تتجاوز  
نسبته ٠.٥٪ ، فينخفض النتروجين من الحديد الزهر ( تحليله الكيميائي  
هو ) •

ك	٣ر٢ - ٨ ر
م	٠٦٧ - ٠ر٦٥
س	١ر - ٢ ر
فو	١ر٤ - ٧ ر
كب	١ ر - ١٤ ر

وباستعمال الصودا يزال حوالى ٥٠ - ٥٠٪ من كمية الكبريت  
الموجودة بالحديد الزهر ويضاف فيه الجير حوالى ٦ - ٧٪ الى المحول قبل  
شحنه بالحديد الزهر ثم بعد ذلك ٥ - ٧ دقائق يضاف ٦٥٪ من الجير  
ثانية بعد ازالة الخبث •

ويستعمل فى أغراض التبريد كل من الخردة وخام الحديد ، ويصل  
معدل استهلاك الأكسجين ٦٢ - ٨٠ م لكل طن من الحديد الزهر ،  
وبهذا المعدل تستغرق الشحنة التي تزن ٧ - ٨ طنا حوالى ١١ - ١٥  
دقيقة ويبلغ استهلاك الجير ١٢ - ١٤٪ وقد أزيل الفوسفور فى نفس  
الوقت مع الكبريت ، وتم ذلك بضبط ارتفاع الأنبوبة ومعدل اندفاع  
الأكسجين •

فمثلا كانت نسبة الفوسفور ٠.٤٢٪ عند الدقيقة ١١ عندما كانت  
نسبة الكربون ٨٤٪ ودرجة حرارة المعدن ١٥٤٠ درجة مئوية وكانت  
قاعدية الخبث حوالى ٢ وحتوى على ١٨٣٪ منه أكاسيد حديد، ٠.٨٢٧٪  
خامس أكسيد الفوسفور •

كان القذف فى هذه التجارب على أشده وما أدى الى قلة الكفاية  
الانتاجية للصلب الناتج وقد أجمعت كل التجارب على أنه من الممكن  
من ناحية المبدأ تحويل الحديد الزهر الفوسفورى الى صلب وذلك بنسخه  
بالأكسجين الخالص ومن أعلا •

ولكن عيب الطرق المتبعة فى هذا الصدد أنها لا تعطى نتائج طيبة  
بالقدر الكافى بين النواحي الفنية والاقتصادية •

ومؤخرا وبعد سلسلة من التجارب قامت بها جمعية الفلزات  
بفرنسا ، دخلت الى ميدان الصناعة الطريقة الجديدة لتحويل الحديد



## ٩ - صناعة أنواع الصلب المختلفة

### وجودة الصلب

تستخدم طريقة النفخ العلوي بالأكسجين عمليا لصنع الصلب الكربوني بنوعيه من الفوار والمخمد ، كما نستخدم أيضا في صنع عدد من السبائك الفولاذية ٠٠ ولقد أسهمت هذه الطريقة اسهاما كبيرا في انتاج معظم انواع الصلب فنجد ان غالبية أنواع الفولاذ المشكلة قد تم صنعها بهذه الطريقة فعلا .

فمن هذا الصلب تصنع الصفائح الرقيقة والألواح التي تم درفلها على البارد لصنع هياكل العربات والألوان المدرفلة على البارد وعلى الساخن اللازمة لأغراض التشكيل بالبتق . ( العوارض ، الكهرات على شكل المجرى - الكوع - الالكترودات - أسلاك البرق « التلغراف » - حديد التسليح والقضبان ٠٠ الخ ) .

ومن الطبيعي أن صناعة كل نوع من أنواع الصلب المختلفة لها قواعدها الخاصة بها .

### صناعة صلب القضبان :

لصناعة الصلب المستخدم في عمل قضبان الأوناش ينبغي أن تنوافر فيه التحاليل الآتية : -

ك	٥ ر - ٠٧٣ ر
م	٦ ر - ١
س	١٥ ر - ٣ ر
كب	أقل من ٠٥ ر
نو	أقل من ٠٥٥ ر

ومن التجارب العملية وجد أنه يمكن الحصول على صلب القضبان بالتحاليل السابقة بتوفير الظروف الآتية : -

١ - استعمال الحديد الزهر الذي يحتوى على عنصر السليكون حتى ٠٧٪ والمتجنيز أكثر من ١٥٪ ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠٦ / ٠ .

٢ - يجب أن تكون كمية أكاسيد الحديد بالخبث مناسبة حتى يتكون جيدا وتزداد درجة إزالة الفوسفور والكبريت ( ولتحقيق هذا

الغرض ، يضبط الخبث مرتين خلال النفخ حيث ترفع أنبوبة دفع الأكسجين ) •

٣ - ارتفاع درجة حرارة الشحنة لدرجة كافية وبحيث لا تصل بالصلب الى درجة التسخين المفرط تلافيا لارتداد الفوسفور اليه ثانية •

ويجب أن نعلم أن ازالة الفوسفور من صلب القضبان ليست بالأمر الصعب فنادرا ما تزيد نسبته عن ٠.٥٪ في صببات هذا النوع من الصلب وتتميز هذه الصببات اما بسخونها الشديدة ( درجة حرارتها قد تصل الى ١٧١٥ درجة مئوية ) مصحوبة باختزال حاد في المنجنيز الى ٠.٧ - ١.٤٪ واما بانخفاض في كمية أكاسيد الحديد في الخبث ( ٤٧ - ٦٣٪ ) وفي هذه الحالة يتحتم ازالة الخبث الأولى •

ويتوقف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٠.٥٧ - ٠.٦٣٪ ثم يستأنف فترة ما بعد النفخ حسب يكون استهلاك الأكسجين بمعدل ٢٠ - ٢٥ م لكل ٠.١٪ كربونا •

لتنظيم درجة حرارة الصلب حتى لا يصل الى درجة التسخين المفرط يضاف اليه كمية من الخام أثناء النفخ ويجب أن تكون درجة حرارته قبل نزع الأكسجين منه بين ١٦١٠ - ١٦٥٠ م •

تضاف الاضافات النازعة للأكسجين الى الصلب في البودقة وأهمها الألومنيوم الذي يضاف بمعدل ١٥٠ جم لكل طن من الصلب ويجب أن لا تزيد كمية الألومنيوم المضافة عن هذا الحد حتى نحافظ على سيولة الصلب • ويوضح الجدول الآتي مقارنة بين نسبة تشبع صلب القضبان المصنوع بطرق مختلفة بالغازات ، تبعا لاختلاف الطرق •

حجم غاز الهيدروجين في ١٠٠ حجم ( سم <sup>٣</sup> )	النسبة المئوية للغازات		طريقة صنع الصلب
	٢١	٢ ن	
٣٣٣	٠٠٢٨ ر	٠٠٣ - ٠٠٨ ر ( في المتوسط ٠٠٦ ر )	النفخ العلوي بالأكسجين
٣٢٨	٠٠٢١ ر	٠٠٧ ر	الفرن المفتوح
٤٩	٠٠٦٦ ر	٠١٨ ر	صلب بسم

وتتراوح قوة الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع في المحولات بين ٧٤ر٢ - ٩٧ر٤ كجم / مم ٢ ويمكن أخذ الرقم ٨٣ر٩ كجم / مم ٢ كمتوسط لها . ويمكن وضع البيانات الخاصة بقوة الشد النهائية في جدول كالآتي : -

جدول ( ٣٤ )

قوة الشد النهائية كجم / مم ٢	النسبة المئوية في عدد الصبات
٨٠	١٩ر٣
٨٠ر١ - ٨٥	٤٠
٨٥ر١ - ٩٠	٣٢ر٢
٩٠ر١ - ٩٥	٧ر٩
٩٥ر١	٠ر٦

وتبلغ متوسط الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع في محولات بسمر والذي له نفس التركيب الكيميائي حوالى ٨٨ر٨ كجم / مم ٢ ويصل متوسط نقطة الخضوع لصلب القضبان المصنوع في المحولات الى ٤٧ كجم / مم ٢ .

من هذا نرى أن خواص المتانة لصلب القضبان المصنوع في حالة الصلب المصنوع بطريقة النفخ السفلية بالهواء وذلك لاحتوائه على نتروجين أقل . وتقل هطيلية صلب المحولات بعض الشيء عن تلك لصلب بسمر ولكنهما يشتركان في نفس الاستطالة التي تبلغ لكليهما حوالى ١١ / ، وبمقارنة الاختزال في مساحة مقطع كل منهما نجد أنها تساوى ١٨ر٤ ٪ لصلب المحولات ، ١٦ر٧ ٪ لصلب بسمر . أما قوة تحمل الصدمات لصلب المحولات فتتفوق نظيرتهما لصلب بسمر وبالأرقام يمكن مقارنتهما في جدول ( ٣٥ ) .

جداول ( ٣٥ )

درجة الحرارة °م						قوة تحلل الصدفات
٦٠ -	٤٠ -	٢٠ -	صفر	٢٠ ÷		
١٠٨	١١٥	١٤١	١٨٢	٢٢٣	متوسط	
١٦٢ - ٨٧	١٢٥ - ١١	١٦٤ - ١١٧	٢٢٥ - ١٤٣	٢٧ - ١٩٦	الحدود التي تقع بينها	



ويصل متوسط الكفاية الاناجية للقطاعات الخفيفة - قضبان ( وزن المتر الطولى ٥٢٧ كجم ) ٩٢٣ ٪

وترجع العيوب الظاهرية الموجودة فى صلب القضبان المصنوع فى المحولات الى أبواب متعددة وليست هذه العيوب من خواص هذا الصلب . ويتأثر البنبان الماكروسكوبى لصلب القضبان الى حد بعيد بدرجة الحرارة و معدل الصب ( معدلات الصب والتبريد ) وسيولة الصلب وأيضا على ارتفاع الصلب فى القوالب .

ولقد أعلت النجارب التى أجريت لصنع صلب القضبان بتطبيق طريقة النفخ العلوية بالأكسجين نتائج مرضية وكانت خواصه الميكانيكية حسنة .

وعليه فان المقاومة النهائية للصلب تتراوح بين ٨٤ - ٩٥٥ كجم/مم<sup>٢</sup> اذا كان تركيبه الكيميائى كالاتى : -

٠.٦٥ - ٠.٧٦ ٪ ك ، ٠.٦ - ٠.٧٨ ٪ م  
٠.١٨ - ٠.٢٧ ٪ س ، ٠.٢٣ - ٠.٤٥ ٪ كب  
٠.١٤ - ٠.٤١ ٪ فو

وتتراوح الاستطالة النسبية له بين ٦ - ٩ ٪ واختبار الصلادة البرينيلية ٢٢٩ - ٢٨٥ ، اختبارات الانحراف بالتصادم ( بالرفع ) ٤٧ - ٥٥ سم ( الصادم الأولى ) .

## ١٠ - صناعة الصلب الذى يحتوى على نسبة عالية من الكربون بكربنة الحديد الزهر المنصهر

تعتبر الطريقة المثلى لصناعة مثل هذا الصلب هى إيقاف النفخ عند نسبة الكربون المنشودة ثم زيادتها مباشرة باضافة الانثراسيت الحرارى أو قجم الكوك الى البودفة فى حالة زيادة النفخ قليلا . وتمتاز هذه الطريقة بقصر زمن النفخ فيطول عمر البطانة وينخفض الاستهلاك النوعى للأكسجين كما أن كلا من الصلب والخبث يكون أقل عرضة للتأكسد ولهذا يقل استهلاك المواد النازعة للأكسجين ( ويطول عمر البطانة ) .

وبالرغم من هذا فقد نضطر أحيانا الى إعادة نفخ الصلب لسبب أو لآخر وعندئذ نلجأ الى اجراء عملية الكربنة عليه باضافة مصهور

الحديد الزهر • ويضاف الحديد الزهر من الخلط مباشرة اذا كانت نسبة المنجنيز المسموح بها فى الصلب أعلى من ٠.٥٪ أما اذا كان مطلوباً أن تكون نسبة المنجنيز أقل من ٠.٥٪ ( كما فى صلب العدد والآلات ) فانه فى هذه الحالة يعاد نفخ الصلب حتى تصل نسبة الكربون الى ٠.٥ - ٠.٧٪ وعندئذ يتكون حديد زهر خالص منخفض المنجنيز يصهر فى أفران الدست أو واسطة حديد زهر يعالج ، بالأكسجين فى البودقة بالاستعانة بالمواد المخبثة •

ولصناعة الفولاذ الذى يحتوى على نسبة منخفضة من المنجنيز يزال الخبث الأولى المتكون تماماً ثم يضبط الخبث الجديد بحيث يكون مؤكسدا حتى تتلاقى اختزال المنجنيز •

عند كربنة الصلب بواسطة الحديد الزهر من الخلط مباشرة يوقف نفخ الأكسجين عندما تصل نسبة الكربون الى حوالى ٠.٨٪ ويستحسن أخذ عينة من الصلب لتحديد كل من الكربون والمنجنيز بدقة وتقاس درجة الحرارة بواسطة الازدواج الحرارى •

عند أخذ العينة يزال ٢٪ الخبث المتكون ثم يضاف الجير بعد ذلك وتسخن كمية الحديد الزهر بحذر حتى نحول دون حدوث أى تفاعل شديد قد يحدث ، داخل المحول •

بعد اضافة الحديد الزهر تؤخذ عينة من الممدن وتقاس درجة الحرارة ثم تضبط التحاليل باضافة الاضافات كالفرومنجنيز الذى يضاف الى المحول والفحم ذى الأحجام الصغيرة الذى يضاف فى البودقة •

وفيما يلى طريقة حساب كمية الحديد الزهر التى تضاف الى الصلب لاجراء عملية الكربنة •

يشحن المحول بثلاثين طناً من الحديد الزهر ويفرض أن الكفاية الانتاجية له = ٩١٥٪ فان :

تحاليل الصلب المطلوب هى : - ٤٥٪ كربون ، ٧٪ منجنيزا

وزن الصلب الناتج بالمحول فى نهاية النفخ = ٢٧٥ طناً •

تحاليل الحديد الزهر بالخلط : - ٤٢٪ كربون ، ١٨ منجنيزا ٠.٨٪ فوسفورا ، ٠.٥٪ كبريتا

التركيب الكيميائى للصلب قبل اجراء الكربنة عليه هو : -

٠.٨٪ كربون ، ٤٢٪ منجنيزا ، ٠.١٨٪ فوسفورا ، ٠.٣٩٪ كبريتا

كمية الكربون المطلوب اضافتها = ٤٥ ر - ٠.٨ ر = ٣٧ ر /  
أو كمية الكربون = ٠.١ ر × ٢٧٥ × ٠.٣٧ ر = ٠.١٠٢ طنا  
ومن واقع التجارب وجد أن وزن الكربون المستفاد فعلا من الحديد  
الزهر = ٧٠ %

$$\text{إذا : وزن الكربون المطلوب فعلا} = \frac{١٠٠ \times ١٠٢}{٧٠} = ١٤٦ \text{ ر. طنا}$$

إذا : وزن الحديد المطلوب اضافته للحصول على ١٤٦ كجم =

$$٣٤٧٠ \text{ كجم} = \frac{١٠٠ \times ١٤٦}{٤٢}$$

ولكن هذه الكمية تحوى على مقدار من المنجنيز = ٠.١ ر ×  
٣٤٧٠ = ١٣٨ ر = ٦٢٥ كجم

$$\text{أو بنسبة فى الصلب} = \frac{٦٢٥}{١٠} = \frac{١٠٠}{٢٧٥٠٠} = ٠.٢٣ \%$$

وتصبح نسبة المنجنيز فى الصلب = ٠.٢٣ + ٠.٤٢ = ٠.٦٥ %  
ويصبح التصحيح لهذه النسبة لازما .

يحتوى الحديد الزهر كمبة من الفوسفور مناظرة لنسبة =

$$٠.١ \text{ ر} \times ٣٤٧٠ \times ٠.٨ \times ١٠٠ = \frac{٢٧٥٠٠}{٠.١ \text{ ر} \%}$$

## ١١ - صناعة الصلب ذى العناصر السبائكية المنخفضة

### والمستخدم فى تسليح المباني

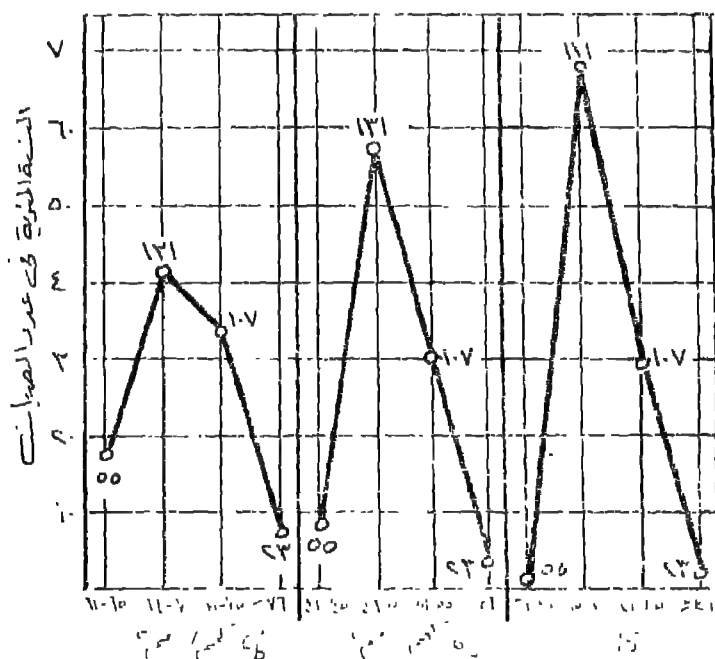
ك	٢ ر - ٢٩ ر
م	١٢ ر - ٦ ر
س	٦ ر - ٩ ر
كب	أقل من ٠.٠٥
فو	أقل من ٠.٠٥

يصنع هذا النوع من الصلب بسهولة بنفخ الحديد الزهر  
بالأكسجين من أعلا للحصول على نسبة المنجنيز المطلوبة ويضاف له  
الفيرومنجنيز وهو فى المحول وتحسب الكمية المستفادة من المنجنيز على  
أنها حوالى ٧٠ - ٧٥ % منه فقط .

صناعة الصلب - ٢٠٩

ويشترط في الفيرومنجنيز المضاف أن يكون كنلا ( أى غير مسحوق ) .

وبعد اضافة كمية الفيرومنجنيز يجب تحريك المحول مرتين او ثلاث ثم يثبت في وضع رأسى لرفع نسبة السليكون الى النسبة المطلوبة ونضاف الى البودفة الكمية اللازمة من الفيروسلليكون الذى يحتوى على ٥٥٪ أو ٧٥٪ منه سليكونا ثم يضاف الالومونوم بعد ذلك فى البودفة أيضا بواقع ٥٠٠ جم لكل طن من الصلب .



شكل (٥٢) : تغير الخواص الميكانيكية عند اجراء تجارب الشد على حديد التسليح المصنوع فى المحول - درجته

ويحتوى هذا النوع من الصلب على بعض الغازات بكميات متفاوتة فنجد ان نسبة الاكسجين به ٠.٠٢ - ٠.٠٤٪ ( فى المتوسط ٠.٠٣٥٪ ) و ٠.٠٧ - ٠.٠٩٥٪ نيتروجينا ( فى المتوسط ٠.٠٠٨٪ ) ٢٢ - ٣٨ جم من الهيدروجين فى كل ١٠٠ جم ( فى المتوسط ٣٢ جم لكل ١٠٠ جم ) .

ونرى فى شكل ( ٥٢ ) التذبذب فى الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المشكل والمصنوع فى المحولات .

التركيب الكمائى لهذا النوع من الصلب يبين فى جدول ٣٦ .

جدول ( ٣٦ )

النسبة المئوية للعناصر					نوع الصلب
فو	كب	س	٢	كب	
٠٠٤	٠٠٤	٠٠٣	٠٣٥ - ٠٥٥	لغاية ٠١	مستخدم في صناعة القضبان المستديرة
٠٠٤٥	٠٠٥	٢٠٢	لغاية ٠٠	لغاية ٠١	مستخدم في صناعة أسلاك البرق

## صناعة الصلب الفوار المستخدم لتصنيع القضبان وأسلاك البرق :

ولهذا السبب فانه من الضروري ألا يزيد نسبة الكبريت بمصهور الصلب عن ٠.٣٧٪ وقد تصادفنا أحيانا بعض العقبات في سبيل الحصول على هذا النوع من الصلب بنسبة منخفضة من الكبريت .

وعند اجراء الاختبارات الميكانيكية على أسلاك البرق المصنوعة من صلب الافران المفتوحة وقطرها ( ٦٥ مم ) يجب أن تتحمل هذه الأسلاك ما لا يقل عن عشرة ثنات دون انهيار ، كما يجب أن لا تقل مقاومتها للشد عن ٣٢ كجم / مم ٢ ولا تزيد مقاومتها الكهربية عن ١٣٣.٠ أوم لكل ١ مم طول منها ، ١ مم ٢ من مساحتها .

وتفى أسلاك البرق المدرفلة من صلب المحولات بكل المواصفات السابقة ويمكنها تحمل اختبارات المنى حتى ٩ - ١٥ ثنية قبل ان تنكسر .

وتبلغ قوة التحمل النهائية ٣٣٩ - ٤١٥ كجم / مم ٢ وتكون عادة ٣٥ - ٣٩ كجم / مم ٢ ( الحوالى ٦٤٧٪ من مجموع الصبات ) أما المقاومة لسريان الكهرباء فتبلغ ١٠٦ ر - ١٣٢ ر أوم وغالبا ما يصل هذا الرقم لمعظم الصبات الى ١١١ ر - ١٢٠ ر أوم .

### جدول ٣٧

رقم الصلب	نسبة العناصر			
	لا يزيد عن		ك	م
	كـب	فو		
١	٠.٠٥	٠.٠٤٥	٠.٠٩ - ٠.١٤	٠.٠٣ - ٠.٠٥
٢	٠.٠٥	٠.٠٤٥	٠.١٤ - ٠.٢٢	٠.٠٣ - ٠.٠٥

### جودة الصلب الفوار المصنوع في المحولات

يحظى الصلب الفوار المصنوع في المحولات بطريقة التنغ العالية بالأكسجين بتطبيقات واسعة في حياتنا العملية فمنه تصنع جميع أنواع الفطاعات المختلفة وألواح الصاج والكل نصف المشكلة والركيب الكيميائي لصلب المحولات والأفران المفتوحة مبين في جدول ٣٧ .

ويمكن معرفة كمية العارات المتكونة في هذا الصلب الفوار من جدول ٥٠ ( حيب أن درجة نقاء الأكسجين ٩٨.٦٪ ) .

### جدول ( ٣٨ )

نوع الصلب	٪ العنصر		نسبة الهيدروجين سم ١٠٠/٣ جم
	أ	ن	
١	٠.٠٠٣ - ٠.٠٠٧	٠.٠٠٤ - ٠.٠٠٦	١.٨ - ٣.٦
٢	٠.٠٠٤ - ٠.٠٠٦	٠.٠٣٨ - ٠.٠٠٦	١.٣ - ٣.٢
٣	٠.٠٠٦ - ٠.٠٢	٠.٠٤٥ - ٠.٠٠٨٥	٠.٥ - ٧.٧

من جدول ( ٣٨ ) يضح لنا أن صلب المحولات الفوار ليس أقل شبعاً بالعازات من صلب الأفران المفتوحة .

ومن الطبيعي أن ترتبط كمية النروجين الموجودة بالصلب بدرجة نقاء الأكسجين المدفوع الى المحول كما في جدول ( ٣٩ ) .

## جدول ( ٣٩ )

السبة المتوية للمسروجين فى الصلب	درجة نقاوة الاكسجين %
٠.٠٦٢ - ٠.٠٦٨	حتى ٩٠
٠.٠٦٥ - ٠.٠٩٢	٩٢ - ٩٠.١
٠.٠٥٦ - ٠.٠٧٢	٩٤ - ٩٢.١
٠.٠٥٥ - ٠.٠٧٠	٩٦ - ٩٤.١

أى ان كمية النروجين الموجودة بالصلب تنخفض بارتفاع درجه نقاوة الاكسجين حتى اذا ما وصلت درجة النقاوة الى ٩٩.٤٪ انخفضت نسبة النروجين فى الصلب الى اقل من ٠.٠٢٥٪ .

من الصعب الحصول على صلب يحتوى على نروجين بسببه اقل من ٠.٠٠٨٪ فى المتوسط باستعمال اكسجين درجه بمائه ٩٢٪ .

وتتأثر خواص الصلب كثيرا بالتغير فى سبة النروجين فالتغير فى حدود ٠.٠١٪ يؤثر على سلوك الصلب المستخدم فى أغراض التشكيل المختلفة كالبلق والسحب خاصة اذا كان المقطع اقل من ١ مم ٠٢

وبعطى القطاعات المشكلة المصنوعة من الصلب الفوار مقاومة لشد تقى بالمواصفات القياسية والفنية التى تتواءم فى صلب الأفران المفتوحة .

يستخدم الصلب المصنوع فى المحولات فى ستنى الأغراض الصناعية كالعوارض والكمرب المجرى والمرافق ( الكيكان ) وألواح الصاج . ومقاومة هذا النوع من الصلب للصدمات عند درجات الحرارة المختلفة ٠ ٢٠ درجة مئوية ، صفر° ، - ٢٠° ، - ٤٠° ، - ٦٠° أكبر من الصلب المصنوع فى الأفران المفتوحة المستخدم فى نفس الأغراض ( كما فى شكل ٥٣ ) .

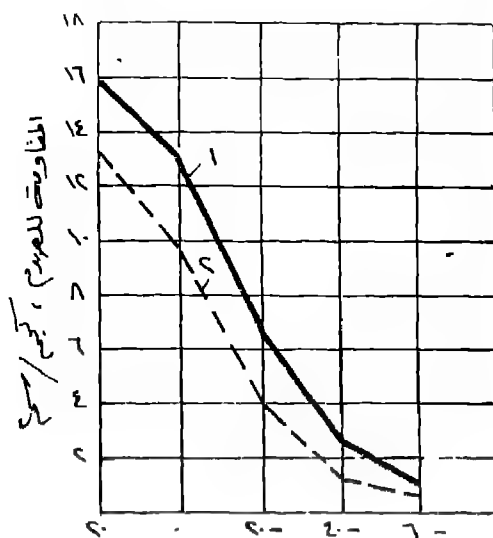
ومن الجدول يمكن مقارنة مقاومته الصدمات ( كجم / سم ٢ ) لكتله أبعادها ٨٠ × ٨٠ من صلب المحولات ومن صلب الأفران المفتوحة درجه ٣ عند درجات الحرارة المختلفة .



جدول ( ٤٠ )

درجة الحرارة ٥ م						نوع الصلب
٦٠ -	٤٠ -	٢٠ -	صفر	٢٠ +		
٦٦ - ٦٦	١٢٤ - ١٢٥	١٢٢ - ١٢٥	١٦٦ - ١٦٩	١٨ - ١٨		صلب المعولات
٥٩ - ٥٩	١ - ١٦	١٠٢٨ - ٨	١٩ - ٢٧	١٩١ - ٦٨		صلب الأفران المتبرقة

ولعل هذه المميزات ستعده على ممدرة طريقة المعنج العلويه  
بالاكسجين على انماج الحديد من أنواع الصلب المخلتله وفي الوقت نفسه  
فان الخواص الميكانيكية وخواص التشغيل لها تضارع نظيرتها لصلب  
الافران المعنوجة كم أن صلب المحولات يمتاز بسهولة لحامه بالكهرباء،  
ويمكن سحبه من المضبان المدلفنة قطر ٦٥ مم الى أسلاك مختلفة الأبعاد  
والأقطار حتى أقل من ١ مم ، دون الحاجة الى عمليات تخمر وسيطة .



شكل (٥٣) : مقاومة الصدم لصلب درجه ٣ :

١ - صلب المحولات عند درجات حرارة مختلفة

٢ - صلب الافران المعنوجة

## ١٢ - الموازنة المادية والحرازية في طريقة النفخ العلوية

### بالأكسجين

لسهولة الحسابات تعتبر الموازنة المادية لـ ١٠٠ كجم من سحبة الحديد الزهر وقد وضعت البيانات الأولية اللازمة لحساب الموازنة المادية في الجدول الآتي : -

جدول ( ٤١ )

النسبة المئوية للعناصر الموجودة بالحديد الزهر					
ك	م	س	كب	فو	
٤٢٣	١٦٩	٧٧	٥٥	٨٣	الحديد الزهر
١٢	٥	آبار	٤٣	٢٩	الصنلج النانج
٣١	٧٩	٧٧	١٢	٥٤	نسبة العناصر المأكسدة

ويضاف لمبه من الحام بسببه ٦٪ كما يضاف الهوكسيب بواقع ١٪ ولنفرص ما يأتي : ٩٠٪ من كمية الكربون الكلي نناكسد الى اول أكسيد الكربون ، ١٠٪ الى ثاني أكسيد الكربون ، كمية العافد من الحديد في الخبث بسببه ١٥٪ منها ١٪ يحول الى ح أ والباقى الى ح ٢ ٣١ .

كمية العافد من الحديد في الغبار ( الدخان ) ١٪ .

وزن البطانة المستهلكة تعادل ٢٪ من وزن الحديد الزهر .

تركيب البطانة : ٦٩٦٪ أكسيد ماغنسيوم ، ١٠٪ أكسيد كروم

وجداول ٤٢ يعطى نحابل المواد المستهلكة في عملية النفخ : -

جول ( ٤٢ )

النسبة المئوية للمبيعات								
الفراد	س ٢	٢ ٢ ح	ح ١	٣ ١ ٢	٢ ٢ ح	٢ ٢ ح	٢ ٢ ح	٢ ٢ ح
البحر	٨ ر	—	—	٤٥,٣٤	١٠٠	١٦٥ ر	١٩٢	—
العام	١١ ر ٧	٨٣,١٧	١٣٥	٩٥	١٤٦	٢٠٢ ر	—	٢٢٩
البيكسيت	٢٣,٤٢	١٠,٣٥	—	—	٤٧,٤	١٤ ر	—	—

وإذا فرض أن الكبريت برال من الصلب الناتج على هيئة كبريتيد المنجنيز الذي يتحول إلى كبريتيد الكالسيوم كما كتب ، فبزال ٠١٢ ر/ من الكبريت وينحد هذا بكمية من المنجنيز

$$= ٠١٢ ر \times \frac{٥٥}{٣٢} = ٠٢١ ر كجم$$

حيث : ٥٥ = الوزن الذري للمنجنيز

، ٣٢ = الوزن الذري للكبريت

وزن المتبقى من المنجنيز = ٧٩ ر - ٠٢١ ر = ٧٦٩ ر كجم

وينحد هذه الكمية من المنجنيز بالأكسجين

**حساب وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الحديد**

**والشوائب الموجودة بالحديد الزهر**

يأكسد ٢٣١ ر كجم من الكربون في كل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر ،  
١٠٪ منها يتحول إلى أول أكسيد الكربون :

$$= ٩٠ ر \times ٢٣١ = ٣٨٧٩ ر كجم$$

و ١٠٪ منها يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون :

$$= ١٠ ر \times ٤٣١ = ٤٣١ ر كجم$$

وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الكربون إلى أول أكسيد الكربون :

$$= ٣٨٧٩ ر \times \frac{١٦}{١٢} = ٥١٧ ر كجم$$

حيث :

١٦ = الوزن الذري للأكسجين

١٢ = الوزن الذري للكربون

ويكون وزن أول أكسيد الكربون = ٥١٧ ر + ٣٨٧٩ ر = ٤٣٩٦ ر كجم

وسوف نطبق هذه الطريقة لحساب أوران الأكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب الأخرى وجدول (٤٣) يعطى البيانات الخاصة بأكسدة الشوائب الأخرى

جدول ( ٤٣ )

وزن المركبات المتكونة . كجم	وزن الأكسجين المطلوب . كجم	القانون الكيميائي للمركبات المتكونة	النسبة المئوية
٩٠٠٢٩	$\frac{17}{12} \times 3879 = 0.17$	ك أ	ك 3879
١٥٨١	$\frac{22}{12} \times 0.431 = 0.1105$	ك أ	ك 0.431
١٦٥٠	$\frac{22}{28} = 0.77$	س أ	س 0.77
٠.٦٩٦٢	$\frac{16}{55} \times 0.769 = 0.222$	م أ	م 0.769
٠.١٢٤	$\frac{80}{72} \times 0.04 = 0.44$	مو ٢	مو 0.44
٠.٧١٥	$\frac{48}{112} = 0.425$	ح ٢	ح 0
١٢٨٦	$\frac{17}{56} = 0.3036$	ح أ	ح 0
٤٣	$\frac{48}{112} = 0.425$	ح ٢	ح 0
٠.٢٣	-	كب	م 0.21
	٨٤٤		الصانع 0.24

وبحليل الأكسجين في المحول كما يأتى : ٩٨٨٦ / أكسجينا ،  
١٤٪ نتروجينا .

$$\text{إذا : كمية الأكسجين اللازمة} \times \frac{٨٤٢٤ \times ١٠٠}{٩٨٨٦} = ٨٥٤٠ \text{ كجم}$$

$$\text{أو } \frac{٨٥٤}{١٤٣} = ٥٩٧ \text{ م}^٣$$

حيث : ١٤٣ = وزن المتر المكعب من الأكسجين

ويحتوى ٨٥٤ كجم من الأكسجين المنفوخ على ٨٤٢ كجم من  
الأكسجين ، ١٢ كجم من النتروجين .

كما أن جزءا من الأكسجين يحصل عليه من خام الحديد إذ  
يختزل ٩٠٪ من الخام الى عنصر الحديد والباقي ( ١٠٪ ) الى أكسيد  
الحديدوز فاذا أضيف ٦ كجم من الخام الذى يحتوى على ٨٣١٧ /  
ح ٣١٢ فان ٩٠٪ منها تختزل وتعطى كمية من الأكسجين :

$$= \frac{٤٨ \times ٨٣١٧ \times ٠٩ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ١٣٤ \text{ كجم}$$

والباقى الذى يختزل الى أكسيد الحديدوز يعطى كمية من  
الأكسجين :

$$= \frac{١٦ \times ٨٣١٧ \times ٠١ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ٠٥ \text{ كجم}$$

$$\text{إذا : الوزن الكلى للأكسجين} = ١٣٤ + ٠٥ = ١٣٩ \text{ كجم}$$

وبافتراض أن المستعمل فعلا من هذا الأكسجين يعادل ٩٠٪ منه

$$= ٩٠ \times ٩٧ = ٨٧ \text{ م}^٣$$

$$\text{إذا : كمية الأكسجين اللازمة} = ٨٧ - ٥٩٧ = ٨٧ \text{ م}^٣$$

أى أن الطن من الحديد الزهر يتطلب ٥١ مترا مكعبا من الأكسجين .

### حساب وزن الجير :

ربط السليكا س ٢١ بأكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات الكالسيوم  
٢ كآ ٠ س ٢١ يستلزم ١١٢ كجم من أكسيد الكالسيوم لكل ٦٠ كجم من

السليكا ( ١١٢ = ضعف الوزن الجزيئى لأكسيد السليكا ، ٦٠ = الوزن الجزيئى للسليكا ) أى أن ١ كجم من السليكا يلزمه  $\frac{112}{60}$  كجم من أكسيد الكالسيوم .

وفى حالتنا هذه نجد أن وزن السليكا المتكونة من أكسيد السليكون الموجود بالحديد الزهر = ١٦٥ كجم .

ولتخبيث هذه الكمية فان وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لهذه العملية

$$= 165 \times \frac{112}{60} = 308 \text{ كجم}$$

ويحتوى الجير على ٠.٨ كجم من السليكا يلزم لها وزنا من أكسيد

$$\text{الكالسيوم} = 0.8 \times \frac{112}{60} = 1.49 \text{ كجم}$$

إذا : وزن أكسيد الكالسيوم المتبقى فى الجير منفردا =

$$= 953.40 - 1.49 = 951.91 \text{ كجم}$$

وبحسب كمية أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا الموجودة بخام الحديد كما يأتى :

وزن الخام المضاف ٦ كجم ، يحتوى الخام على ١١.٧٪ منه سليكا .

أى أن وزن السليكا به =  $0.1 \times 6 \times 11.7 = 4.21 \text{ كجم}$

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بهذه السليكا

$$= 4.21 \times \frac{112}{60} = 7.81 \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على كمية من السليكا وزنها :

وزن السليكا الموجودة بالبوكسيت =  $0.1 \times 1 \times 23.42 = 2.34 \text{ كجم}$

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لها =  $2.34 \times \frac{112}{60} = 4.37 \text{ كجم}$



وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتثبيت خامس أكسيد الفوسفور الى  
( كما ١١ )؛ ف٢٠ أه

$$= 0.124 \times \frac{224}{122} = 0.196 \text{ كجم}$$

حيث :

$$224 = 4 \times \text{الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم}$$

$$142 = \text{الوزن الجزيئي لخامس أكسيد الفوسفور}$$

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتحويل كبريتيد المنجنيز الى كبريتيد  
الكالسيوم .

$$= 0.43 \times \frac{56}{87} = 0.21 \text{ كجم}$$

حيث :

$$56 = \text{الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم}$$

$$87 = \text{الوزن الجزيئي لكبريتيد المنجنيز}$$

$$\text{إذا : الوزن الكلي لأكسيد الكالسيوم اللازم} =$$

$$= 0.08 + 0.31 + 0.43 + 0.196 + 0.21 = 0.37 \text{ كجم}$$

ويجب مراعاة أن تكون هناك وفرة من أكسيد الكالسيوم في الحث  
ولذلك فإن الكمية اللازمة من أكسيد الكالسيوم قد قدرت بستة  
كيلو جرامات .

إذا : وزن الجبر بالتحاليل السابقة الذي يجب اضافته =

$$= \frac{6 \times 100}{93.845} = 6.4 \text{ كجم}$$

حساب مركبات الجير :

$$\text{س} ٢ : 0.1 \times 6.4 \times 0.8 = 0.51 \text{ كجم}$$

$$\text{لو} ٢ : 0.1 \times 6.4 \times 1 = 0.64 \text{ كجم}$$

$$\text{كا} : 0.1 \times 6.4 \times 95.34 = 61.00$$

### مركبات البطانة المستهلكة :

$$\text{مغ أ : } ٠.١ \times ٢ \times ٦٩٦ = ١٣٨ \text{ كجم}$$

$$\text{كروم أ : } ٠.١ \times ٢ \times ١٠ = ٢ \text{ كجم}$$

### مركبات خام الحديد :

يخزنل ٩٠٪ من خام أكسيد الحديدك ح ٢ أم الى الحديد ويخترل البافى (١٠٪) الى ح أ

$$\text{وزن الحديد المخزنل} = \frac{١١٢ \times ٨٣١٧ \times ٩ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ٣١٦ \text{ كجم}$$

حيث :

$$٦ \text{ كجم} = \text{وزن الخام المضاف}$$

$$٩ \text{ كجم} = ٩٠٪ \text{ من الاختزال}$$

$$٨٣١٧٪ = \text{نسبة أكسيد الحديدك فى الخام}$$

$$\frac{١١٢}{١٦٠} = \text{وزن الحديد الموجود فى ١ كجم من أكسيد الحديدك}$$

وزن أكسيد الحديدوز ح أ الناتج من اختزال ح ٢ أم والتي تتحول الى الحثب

$$\text{وزن الحديد} = \frac{١٢ \times ٨٣١٧ \times ١ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ٠.٣٥ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن ح أ} = ٠.٣٥ \times \frac{٧٢}{٥٦} = ٠.٤٥ \text{ كجم}$$

$$\text{س أ : } ٠.٧ \text{ كجم}$$

$$\text{لو أ : } ٠.١ \times ٦ \times ١٤٦ = ٨٨ \text{ كجم}$$

$$\text{كا أ : } ٠.١ \times ٦ \times ٩٥ = ٥.٧ \text{ كجم}$$

### مركبات البوكسيت :

$$\text{س أ : } ٠.٢٣ \text{ كجم}$$

$$\text{لو أ : } ٠.١ \times ٤٧٤ \times ١ = ٤٧.٤ \text{ كجم}$$

وبمكن وضع التركيب الكيميائي للمخثب في جدول كالآنى :

جول ( ٤٤ )

النسبة المئوية	المجموع الكلي كجم	من البطانة	من البركسيت	من الجير	من خام الحديد	من تأكسد الحديد والشماتية الموجودة في الحديد الزهر	المكونات
١٨ر٢	٢٢٦٢١	-	٢٣	٢٠٥١	٧	١٦٥	٢١
٤٢	٦٠٥٧	-	-	٦	٢٠٥٧	-	٢١
٤٢	٦٢٦	-	٤٧٤	٢٦٤	٢٠٨٨	-	٢١
١٢	١٧٢٦	-	-	-	٤٥	٢٨٦	٢١
٤٩	٧١٥	-	-	-	-	٧١٥	٢١
٦٩	٩٩٢	-	-	-	-	٩٩٢	٢١
٩٥	١٣٨٠	-	-	-	-	-	٢١
٢٤	٢٢	٣٨	-	-	-	-	٢١
٢٩	٢٤	٢	-	-	-	-	٢١
١٠٠٪	١٤٤٦١	-	-	-	-	٢٤	٢١

### تركيب الغازات المتصاعدة من المحول

وزن ثاني أكسيد الكربون المنكون ١٥٨١ كجم ، وزنه الجزيئي = ٢٤

إذا : ١٥٨١ كجم من كـ٢٤ يحتوى على  $\frac{١٥٨١}{٢٤} = ٠.٣٦٠$  جزء كيلو جرام

ولكن الجزء الكيلوجرامى من أى غاز يشغل حجرا قدره ٣٢٢٤م

إذا : تركيب الغازات حجما لكل ١٠٠ مجم من الحديد الزهر =

$$\text{كـ}٢٤ : ٠.٣٦ \times ٢٢٤ = ٨١\text{م} \quad ١٠\%$$

$$\text{كـ} : \frac{٩٠.٤٩}{٢٨} \times ٢٢٤ = ٧٢٤\text{م} \quad ٨٨.٨\%$$

$$\text{ن} : ٠.١٢ \times ٢٢٤ = ٢٦.٩\text{م} \quad ٨.٢\%$$

$$\text{المجموع} \quad ٨١٤٦\text{م} \quad ١٠٠\%$$

وعمليا تحتوى الغازات المتصاعدة من المحول على كمية معينة من الأكسجين والنيتروجين الناتجين من تحليل الرطوبة الموجودة بالمواد أو التى تدخل المحول مع الأكسجين أو التى تتسرب خلال أنبوبة تمويل الأكسجين .

### حساب وزن الصلب الناتج

تحتسب أوزان لحديد الناتج عن اختزال أكسيد الحديد الخام والوكسيت كما يلى :

يحتوى الخام على ٨٣.١٧% ح ٢ ( يهمل الحديد الموجود فى أكسيد الحديدوز ) ويضاف الخام بمعدل ٦ كجم :

$$\text{إذا : وزن ح ٢} = ٠.١ \times ٨٣.١٧ \times ٦ = ٤٩.٨ \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على ١٠.٣٥% من ح ٢ وتكون اضافته بمعدل ١ كجم

$$\text{إذا : وزن ح ٢} = ٠.١ \times ١٠.٣٥ \times ١ = ٠.١ \text{ كجم}$$

$$\text{إذا : وزن ح ٢ الكلى} = ٤٩.٨ + ٠.١ = ٥٠.٨ \text{ كجم}$$

$$\text{كمية الحديد الموجود فى ح ٢} = \frac{١١٢}{١٦٠} \times ٥٠.٨ = ٣٥.٦ \text{ كجم}$$

وزن الحديد المختزل ( ٩٠٪ منه ) = ٣٥٦ × ٠.٩ = ٣٢٢ كجم

ويتصيد الحثب بعضا من الحديد ٠٠ ولقد وجد عمليا أن كمية الحديد المتصيدة في الحثب النهائي الناتج بهذه الطريقة ( طريقة النفخ العلوية بالأكسجين ) تتغير من صبة لأخرى وتتوقف على لزوجة الحثب ومتوسط هذه الكمية في خمسين تجربة ٦٩٪ من وزن الحثب \* ويبلغ وزن الحثب الناتج ١٤٤٦١ كجم من الحديد الزهر .

إذا : اكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر يفقد كمية من الحديد =

$$= ١٤٤٦١ \times ٦٩ \times ٠.١ = ١ \text{ كجم}$$

وزن العناصر الضائعة = ٨٤٢٤ كجم

إذا : وزن الصلب الناتج = ١٠٠ + ٣٢٢ - ٨٤٢٤ = ٩٣٧٧٦ كجم

ويمكن نسقيق الموازنة المادية في جدول كما يأتي :

#### جدول ( ٤٥ )

الشفنة / كجم	وزن الناتج / كجم		
حديد زهر	١٠٠.٠٠	صلب منصهر	٩٣٧٧٦
أكسجين	٨٥٤	غازات	١٠٤٦١
خام الحديد	٦٠٠	حثب	١٤٧٤٠
جير	٦٤	حديد ضائع في الحثب	١٠٠٠
البوكسيت	١٠٠	مقذوفات ، حديد ضائع	
		كأبخرة داكنة مع الغازات	
		المتصاعدة .	
بطانة	٢٠٠		٣٩٦٣
المجموع الكلي	١٢٣٩٤	-	١٢٣٩٤

## الموازنة الحرارية

للسهولة نعتبر ١٠٠ كجم من شحنة الحديد الزهر أساسا في حساباتنا للموازنة الحرارية .

### الحرارة الداخلة :

$$1 - \text{كمية الحرارة الداخلة مع الحديد الزهر :} \\ = 100 ( 0.178 \times 1200 + 0.02 + 0.25 ) ( 1250 - 1200 ) \\ = 27850 \text{ سعرا}$$

حيث :

$$1200 = \text{درجة انصهار الحديد الزهر ، درجة مئوية} \\ 178 \text{ ر} = \text{السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار ،} \\ \text{سعرا / كجم}^\circ \text{م} \\ 0.02 = \text{الحرارة الكامنة للانصهار} \\ 0.25 = \text{السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر} \\ \text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

$$1250 = \text{درجة حرارة الحديد الزهر عند صبه في المحول}^\circ \text{م}$$

### ٢ - كمية الحرارة الناتجة عن تيار الأكسجين :

$$\text{يدفع الأكسجين الى المحول عند درجة حرارة } 30^\circ \text{ درجة مئوية .} \\ \text{والسعة الحرارية للأكسجين عند هذه الدرجة} = 0.23 \\ \text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

$$\text{إذا : كمية الحرارة الداخلة مع الأكسجين} = 804 \times 30 \times 0.23 = \\ 59 \text{ سعرا}$$

### ٣ - كمية الحرارة الناتجة من احتراق الكربون :

$$\text{عند احتراق ١ كجم من الكربون الى أول أكسيد الكربون تبعث} \\ 2452 \text{ سعرا}$$

$$\text{عند احتراق ١ كجم من الكربون الى ثاني أكسيد الكربون تبعث} \\ 8137 \text{ سعرا}$$

$$\text{إذا : } 8137 \times 0.431 + 2452 \times 3879 = 13000 \text{ سعرا}$$

٤ - كمية الحرارة الناتجة عن احتراف السليكون الى السليكا ثم احاد السليكا بأكسيد الكالسيوم لتكوين ٢ كآ٠ س٠أ٢ ونتصاعد نتيجة لتأكسد ونخبث ١ كجم من السيلكون كمية من الحرارة = ٧٤٢٨ سعرا

$$٠.٧٧ \times ٧٤٢٨ = ٥٧٢٠ \text{ سعرا}$$

٥ - كمية الحرارة الناتجة عن تأكسد الفوسفور ونخبثه لتكوين ( كآ ) ؛ ف٢ ه١ وتصاعد كمية من الحرارة لكل ١ كجم من الفوسفور = ٨٥٥٠ سعرا .

$$١د١ \times ٠.٠٥٤ \times ٨٥٥٠ = ٤٦٢ \text{ سعرا}$$

٦ - كمية الحرارة المتصاعدة عن تأكسد المنجنيز :

$$= ١٧٥٨ \times ٠.٧٦٩ = ١٣٥٠ \text{ سعرا}$$

٧ - كمية الحرارة المنبعثة نتيجة لتأكسد الحديد الضائع في الحث : عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح١ س٢ ط٢ كمية من الحرارة = ١١٩١ سعرا

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح٢ س٣ نطلق كمية من الحرارة = ٢٠٧٦ سعرا

$$١د١، \text{ كمية الحرارة} = ١١٩١ \times ١ + ٠.٥ \times ١٧٦٩ = ٢٠٧٦ \text{ سعرا}$$

٨ - كمية الحرارة الناتجة من تأكسد الحديد الذي ينطلق مع غاز المحول على هيئة يقدّر الحديد الضائع في القبار مع الغازات بحوالي ١٪ وعندما نتأكسد هذه الكمية الى الذي يعتبر أهم مكونات القبار المتصاعد من المحول نبعث كمية من الحرارة = ١٧٦٩  $\times$  ١ سعرا ١٧٦٩ .

### الحرارة المستنفذة

١ - الحرارة الموجودة بالصلب المنصهر

$$= ٣١٧٠٠ \text{ سعرا حيث :}$$

$$١٦٧ \text{ ر} = \text{السعة الحرارية للصلب قبل أن ينصهر}$$

$$\text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

$$٦٥ = \text{الحرارة الكامنة للانصهار}$$

$$\text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

٢٠ = السعة الحرارية للصلب المنصهر

سعر / كجم م°  
 ١٥٠٠ = درجة انصهار الصلب  
 ١٦١٠ = درجة الحرارة التي يصب عندها الصلب من المحول  
 درجة مئوية

٢ - الحرارة الموجودة بالخب :  
 = ١٤٤٦١ ( ٠.٢٩٤ × ١٦١٠ + ٥٠ ) = ٧٥٦٠ سعر

حيث :

٠.٢٩٤ = السعة الحرارية للخب  
 ٥٠ = الحرارة الكامنة لانصهار الخب  
 سعر / كجم م°

٣ - كمية الحرارة التي تحملها الغازات معها .

درجة حرارة الغازات فور خروجها من المحول = ١٤٠٠ درجة  
 مئوية وعند هذه الدرجة تكون السعة الحرارية لكل من أول أكسيد الكربون  
 والنيتروجين = ٠.٣٢٩ درجة سعر / م° درجة مئوية والسعة الحرارية  
 لنائي أكسيد الكربون = ٠.٥٣٤ درجة سعر / م° درجة مئوية .

إذا : كمية الحرارة = ١٤٠٠ ( ٠.٣٢٩ × ٧٢٤ + ٠.٥٣ × ٠.٨١ )  
 = ٣٩٧٠ سعر

٤ - كمية الحرارة المستغلة في احتزال خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من خا الحديد والبوكسيت الى ح بينما يختزل الباقي  
 ١٠٪ الى ح أ

ويلزم لاختزال ١ كجم من ح أ الى ح كمية من الحرارة = ١٧٦٩ سعر  
 إذا : كمه الحرارة اللازمة لاختزال ٣٢ كجم من الحام =  
 = ١٧٦٩ × ٣٢ = ٥٦٥٠ سعر

ويلزم لاختزال ١ كجم من الحديد من ح أ الى ح أ ٦٠٧ سعر وفي  
 حالتنا هذه يختزل ٣٥ كجم من الحديد في ح أ الى ح أ

إذا : الحرارة المستغلة = ٠.٣٥ × ٦٠٧ = ٢١٢ سعر

إذا : الحرارة الكلية اللازمة لاختزال الحديد =

= ٥٦٥٠ + ٢١٢ = ٥٨٦٦ سعر

ويمكن وضع جميع البيانات الخاصة بالموازنة الحرارية في جدول  
 كما يأتي :



## جدول ( ٤٩ ) الحرارة الداخلة

النسبة المئوية	سعر	بنود مصادر الحرارة
٥٣١	٢٧٨٥٠	كمية الحرارة بمصهور الحديد الزهر
٠١	٥٩	كمية الحرارة بالأكسجين
٢٥٠	١٣٠٠٠	الحرارة الناتجة من تأكسد الكربون
١٠٩	٥٧٢٠	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث السليكون
٠٩	٤٦٢	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الفوسفور
٢٦	١٣٥٠	الحرارة الناتجة عن تأكسد المنجنيز
٤٠	٢٠٧٦	الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد الضائع في الخبث
٣٤	١٧٦٩	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الحديد الضائع في الغبار مع الغازات
٪١٠٠	٥٢٢٨٦	المجموع الكلي

## الحرارة المستنفدة

النسبة المئوية	سعر	بنود استنفاد الحرارة
٦٠٦	٣١٧٠٠	كمية الحرارة بمصهور الصلب
١٤٤	٧٥٦٠	كمية الحرارة بالخبث
٧٦	٣٩٧٠	كمية الحرارة في غازات المحول
١١٣	٥٨٦٢	كمية الحرارة المستغلة لاختزال الحديد
٦١	٣١٩٤	كمية الحرارة الضائعة بالإشعاع وغيره من طرف فقد الحرارة الأخرى ( وتوجد بالفروق )
٪١٠٠	٥٢٢٨٦	المجموع الكلي

### ١٣ - نخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة

#### لصناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين فى المحولات

تتبع نفس المبادئ الأساسية عند نخطيط مصنع الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين كما فى مصنع محولات نوماس . وهناك الى جانب العناصر الأساسية عناصر أخرى خاصة لازمة لهذه الطريقة فهى تتطلب منا رفع وخفض أنبوبة الأكسجين بانتظام .

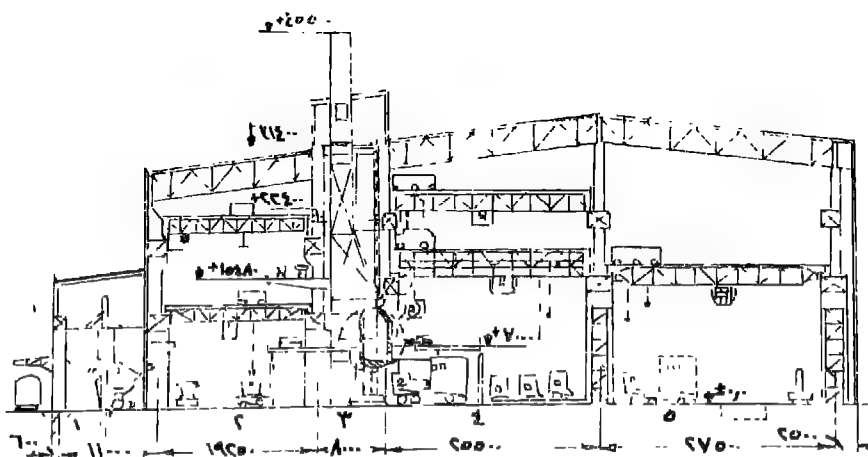
ولقد كان من جراء متطلبات اضافة كميات كبيرة من الحردة والجير والحام قبل وأثناء عملية النفخ وإجراء تنقية الغازات المتصاعدة ، ظهور بعض الصعوبات فى تحديد مكان المحول وتنظيم مكان الأجهزة المختلفة بمقارنتها بمحولات نوماس .

وفيما يلى وصف لتخطيط وتنظيم بعض الوحدات حيث ينفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول . يمثل شكل ٥٤ المقطع المستعرض لاحدى وحدات المحولات التى تسع ٣٠ طنا ويرى فى الشكل مكان خال لمحول ثالث ويوجد بالقسم خلاط سعة ١٠٠٠ طنا ويمد اثنين من الأفران المفتوحة بالحديد الزهر .

ويقوم بشحن الحديد الزهر بعد وزنه فى المحول ونش علوى منحرك حمولة ١٠٠ طن

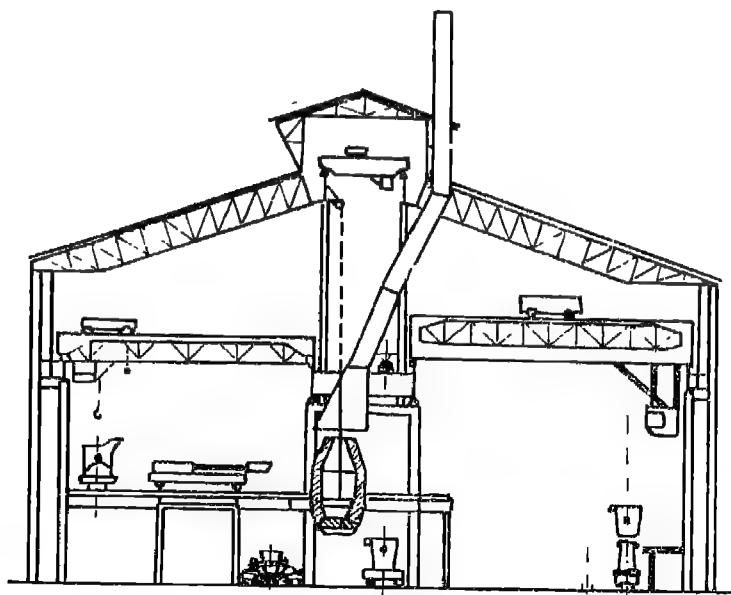
كما يوجد عدد من الأوناش الأخرى المساعدة بقوم بالاضافات المطلوبة لشحنة المحول والأعمال الاضافية المطلوب أداؤها داخل الوحدة ثم يضاف الجير وغيره من الاضافات الأخرى الى المحول خلال مسقط مائل عن منسوب تشغيل المحولات .

ويستخدم لرفع وخفض أنبوبة دفع الأكسجين ونش كهربائى يثبت فوق السطح العلوى ويدار من حجرة المراقبة ويستعمل جهاز هيدروليكي لامالة المحول .

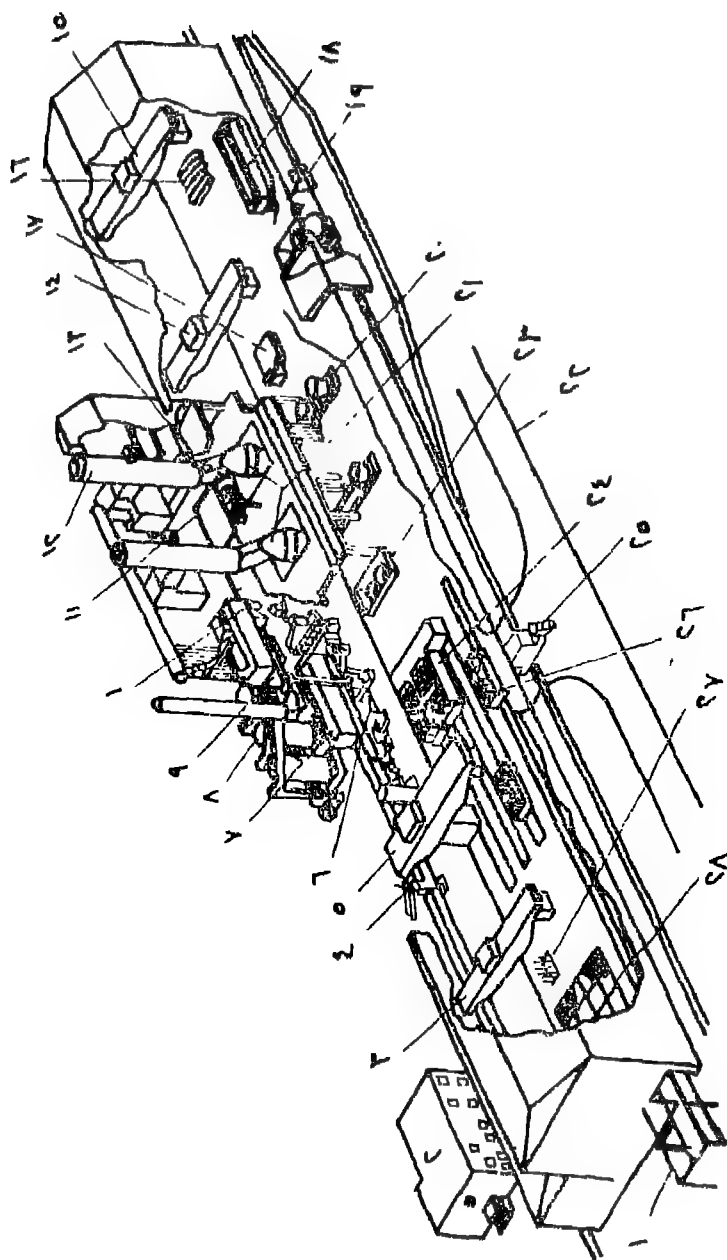


شكل (٥٤) : منظر المنطق المستعرض في مصنع الصلب بواسطة المحولات ،  
وبه محولان سعة كل منهما ٣٠ طنا

ويوجد قسم خاص لصناعة الطوب الحراري من الدولوميت المقطرن ٠٠  
ويبلغ مصنع الصلب ٦٤ مترا طولا ويرتكز على أعمدة المسافة بينها ١٦  
مترا ٠٠ ونرى في شكل ( ٤١ ) رسما لوحدة تنظيف غازات المحول  
من الأتربة كما يوضح الشكل ( ٥٥ ) المقطع العرضي للمحول وخنادق  
الصب ٠



شكل (٥٥) : قطاع مستعرض في مصنع الصلب ، ويرى به قسم المحولات وقسم الصلب ٠



شكل (٥٦) : تخطيط لمصنع الصلب يعمل به محولان سعة كل منهما ١٠ طن

## أجهزة القياس التى نه نستخدم فى مصنع الصلب

نجهز مصانع الصلب الحديثة بمجموعة كبيرة من أجهزة القياس المخفلة التى نستخدم لقياس الكم والضغط ودرجة حرارة هواء النفخ ( هواء ، أكسجين ، بخار ماء ، ثانى أكسيد الكربون ) التى تدخل المحول فى وحدة زمنية واستهلاك وضغط درجة حرارة المياه المستخدمة فى أغراض تبريد أنبوبة الأكسجين فى طريقة النفخ العلوية ودرجة حرارة المعدن وكمية المياه والطاقة الكهربائية المستغلة فى تنقية الغازات المتصاعدة من المحول من درجة حرارة وكمية الغازات المارة خلال العادم ٠٠٠ الخ .

ونصميم ومبادئ تشغيل هذه الأجهزة ( أجهزة قياس التدفق ، مياس الضغط ) .

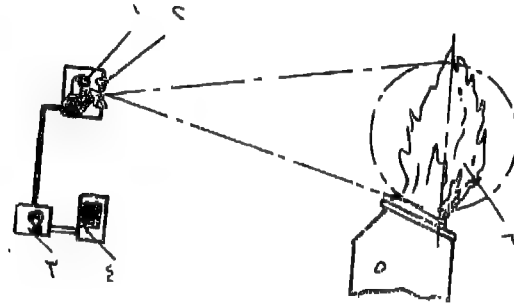
ولما كانت عملية النفخ سنغرق وقتا قصيرا فانه أصبح من المتعذر ضبط عمليات التشغيل المختلفة بالاسمعانة بالحاليل الكيميائية حتى باستخدام أحدث الأجهزة الموجودة فى عصرنا الحديث والتى تمتاز بدقتها وسرعها الفائقة لان أخذ عينة يحتاج الى توقف النفخ مما يتسبب فى ضاع الكنبر من الوقت . ولهذا السبب بذلت المحاولات العديدة فى السنوات الأخيرة لمتابعة سير عملية النفخ أو إيقافها عن طريق الملاحظة والاسمعانة فى ذلك بالآجهزة المختلفة ، وكذلك بالتغير الذى يطرأ على شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول كدليل صادق على الحالة الراهنة للمعدن داخل المحول .

ويمكن الحصول على الانتاج المطلوب بطريقة ثابتة باستعمال حديد رهردى تركيب كيميائى ثابت ودرجة حرارة مقاربة لنفس ظروف التشغيل المتماثلة وفى هذه الحالة يمكن إيقاف النفخ عند لحظة محددة ومعروفة ( عند نسبة معينة من الكربون فى الصلب ) .

ونحدد هذه اللحظة بأجهزة مختلفة نستخدم لقياس شدة استضاءة شعلة اللهب ( بواسطة الخلية الكهروضوئية ) . ونظرا لأهمية الأجهزة المختلفة نورد فيما يلى مبادئ استعمال بعض هذه الأجهزة التى نستخدم للملاحظة ( المراقبة ) سير العملية من خارج المحول ومن ثم تتقرر اللحظة التى يبحم عندها إيقاف النفخ .

والخلية الكهروضوئية جهاز نستخدم لقياس الطاقة الضوئية للهب حيث يتحول الى طاقة كهربائية ويقوم جهاز تسجيل خاص بتدوين التيار الكهربائى السارى فى هذه الخلية الكهروضوئية وتركيبها مبين بشكل

(٥٧) ويراعى ألا يكون هناك أى عائق بين الشعلة والخلية الكهروضوئية كالألواناش والقاطرات مثلا كما يجب أن يكون استعمالها بعيدا كل البعد عن أشعة الشمس ويرى في شكل (٥٨) منحنى درجات الانصهار كما يدونه جهاز الخلية الكهروضوئية فعند ناكسد السليكون تكون شعلة اللهب ضعيفة التوهج ( أقل اضاءة ) وذات طاقة ضوئية صغيرة اللهب كما هو موضح فى الرسم وعندما تصل نسبة الكربون الى ١٥٪ ( نقطة أ ) تهبط ( تضعف ) شدة توهج اللهب سريعا ( نقطة ب ) حتى تصبح نسبة الكربون ٠.٥-٠.٦٪ ثم يتتابع التناقض فى الطاقة الضوئية للهب .



شكل (٥٧) : تنظيم وضع الخلية الكهروضوئية :

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| ١ - خلية كهروضوئية | ٢ - مرشحات     |
| ٣ - مضخم ( مكبر )  | ٤ - جهاز تسجيل |
| ٥ - المحلول        | ٦ - شعلة اللهب |



شكل (٥٨) : شريط تسجيل لمبة فى محول بسمور تم اخذها بواسطة الخلية الكهروضوئية

بالوصول الى نقطة (ب) نأبى الى نهاية عملية النفخ حيث يجب إيقافه ويمثل الجزء ب - ج على المنحنى فترة امالة المحلول على المنحنى . أما اذا كان المراد توقف النفخ عندما يصبح نسبة الكربون ١٢-٠.١٥٪ فيجب امالة المحلول عند نقطة أ وبامالة المحلول بطريقة مطابقة للرسم البياني للخلية الكهروضوئية يصبح الفولاذ الناتج من الصببات المختلفة أكثر

تجانسا كما تقل كمية الغازات الدائبة به كالاكسجين والنتروجين نتيجة لقصر فترة ما بعد النفخ وكثيرا ما تطول هذه الفترة في حالة الاعتماد على انتهاء النفخ بالنظر فقط .

ويمكن أن يلحق بالخلية الكهروضوئية جهاز لاصدار اشارة ضوئية أو صوتية عند اللحظة التي يتحتم عندها إيقاف النفخ . وعلى سبيل المثال زودت إحدى الوحدات لصناعة الفولاذ سهل القطع في محولات بسمر بهذا الجهاز وكانت النتائج سيئة اذ انخفضت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ عن ٠.٠٨٪ بينما في حالة إيقاف النفخ بمجرد النظر لا تتعدى نسبة الصببات التي لها نفس هذه النتائج عن ٣.٣٦٪

وبواسطة الخلية الكهروضوئية ترسل اشارة لامالة المحول في اللحظة التي يبلغ عندها التيار الكهربائي للخلية الكهروضوئية قيمته العظمى والتي تناظر على الرسم البياني ٠.٩-١.١٪ كربونا . وبهذه الطريقة ينخفض عدد الصببات التي تحتوى على نسبة منخفضة من الكربون الى ١.٥٪ أى الى أكثر من ثلاث مرات .

بامعان النظر فى شعلة اللهب المنبعثة من محول توماس أثناء فترة تأكسد الفوسفور نجد أن عند لحظة معينة تأخذ شفافية الشعلة فى التناقض حتى تصل الى حد أدنى ثم تزداد ثانية بحدة وتظل قصيرة وثابتة قبل نهاية النفخ كما هو مدون بالمقطع المستقيم لشفافية اللهب .

عند بداية هذا المقطع تكون نسبة الفوسفور المناظرة ٠.٣ - ٠.٦٪ وتتوقف على درجة الحرارة وبمثل شكل (٥٩) منحنيات الشفافية لشعلة



شكل (٥٩) : الخط البياني الذى يوضع تغير شفافية شعلة اللهب عند فوهة المحول

الذهب عند درجات الحرارة المنخفضة ( ١٥٨٢°م ) ، والعالية ( ١٦٤٥ درجة مئوية )

من الشكل نرى أن نقطة ب وهي الحد الأدنى للشفافية تناظر نسبة من الفوسفور في الصلب لا تتعدى ٠.١٪ وتظهر هذه النقطة على الرسم البياني قبل نهاية النفخ بنصف دقيقة وبالوصول الى هذه النقطة يصبح من الممكن امالة المحلول وایقاف النفخ ( اذا كان دوران المحلول الى الوضع الأفقى بطيئاً ) وباستمرار النفخ أكثر من ذلك تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب انخفاضاً ضئيلاً بينما تزداد كمية الحديد المفقودة كثيراً . أما اذا أخذ المحلول وضعه الأفقى سريعاً فان نقطة ج تكون أكبر ملاءمة لانتهاء النفخ .

بايقاف النفخ عند نقطة ج فى وحدات صناعية مختلفة نحصل على صلب تختلف نسبة الفوسفور به من ٠.٢٥-٠.٣٥٪ عند درجة حرارة حتى ١٥٩٠ درجة مئوية ، ٠.٣٥-٠.٤٥٪ عند درجة حرارة من ١٥٩٠-١٦١٠ درجة مئوية ، ٠.٤٥-٠.٦٪ للصبات ذات درجة الحرارة العالية التى تزيد عن ١٦١٠ درجة مئوية . وتبلغ النسبة الحد الأقصى عندما تصل درجة حرارة الصلب الناتج الى درجة التسخين المقرط ( فوق ١٦٥٠ درجة مئوية ) .

وبسهولة يمكن تقدير درجة الحرارة أثناء النفخ من منحنى الشفافية لشعلة الذهب فكلما انخفضت درجة الحرارة كلما كان ميل المنحنى أكثر حدة قبل نقطة ج .

ما سبق يتضح لنا أنه بواسطة منحنى الشفافية تتحدد اللحظة التى ينحتم عندها إيقاف النفخ دون الرجوع الى طسعة الطريقة المستخدمة .

ب ولقد ظهرت طريقة لتحديد لحظة إيقاف النفخ وإضافة المبردات بمعرفة كمية الأكسجين التى دخلت الى المحلول منذ بدء النفخ وتقدر الكمية المطلوبة لنفخ طن واحد من الحديد الزهر بالخبرة والحسابات فمثلاً يلزم حوالى ٣٢٤٠ من الهواء أو ٣٥٠ من الأكسجين حتى قبل إعادة النفخ لتحويل طن واحد من الحديد من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٣.٨٪ ، ٠.٢٥٪ ١.٥٪ م ، ٢.١٪ فو لكى نحصل على صلب بالتحاليل الآتية .

٠.٥٪ ك ، ١.٥٪ م ، ١.٦٪ فو



وتحت نفس الظروف فانه يلزم حوالى ٧٥ م ٣ من الاكسجين طوال فترة النفخ

اذا كمية الهواء اللازمة لنفخ ٣٥ طنا من الحديد الزهر حتى قبل اعادة النفخ = ٢٤٠ × ٣٥ = ٨٤٠٠ م ٣

ومنه تحدد كمية الهواء المنفوخ عند أية لحظة من فترة ما قبل اعادة النفخ من ٨٤٠٠ م ٣ وعلى سبيل المثال :

حجم الهواء المنفوخ حتى قبل اعادة النفخ بزمن قدره « ن » دقيقة =  
ح = ٨٤٠٠ - أن

جبت : أ حجم الهواء الداخلى الى المحول فى الدقيقة م ٣

أما اذا كانت الشحنة أقل من ٣٥ طنا ، فان كمية الهواء المنفوخ تقل تبعا لذلك .

وقد نم رسم خطوط بيانية لتعيين اللحظة التى يتحتم عندها يقاف النفخ واضافة المبردات وعلى سبيل المثال : المطلوب تحديد اللحظة المناسبة قبل اعادة النفخ بدقيقتين لاضافة المبردات الى شحنة من الحديد الزهر وزنها ٣٠ طنا مع العلم بأن معدل استهلاك الهواء ٥٠٠ م ٣ / دقيقة ٠٠ من الصعب أن نحدد هذه اللحظة باستمرار النفخ حيث أنها تعتمد على شدة النفخ وتستخدم هذه الخطوط البيانية لمعرفة حجم الاكسجين المنفوخ الى المحول قبل هذه اللحظة .

يرسم خط رأسى من الشكل الثانى على مقياس الزمن قبل اعادة النفخ فيقطع الخط المناظر لحجم النفخ الذى يساوى ٥٠٠ م ٣ / دقيقة فى نقطة ثم من هذه النقطة يؤخذ خط أفقى فيتقاطع مع الخط المناظر لشحنة المحول وهى ٣٠ طنا فى نقطة يكون مسقطها الأفقى هو حجم الاكسجين المنفوخ ( الخط المنقط من الخطوط البيانية ) .

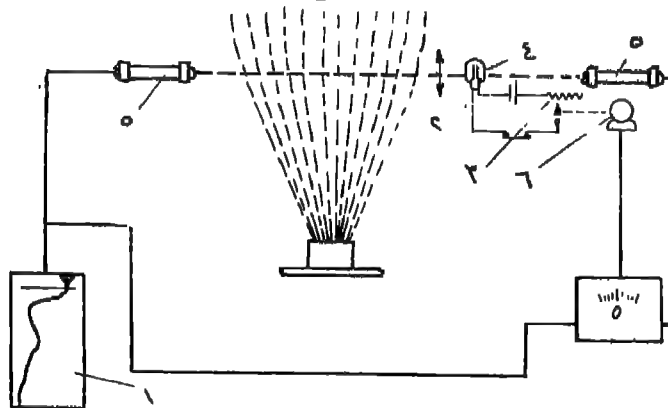
وعندما يبين مقياس التدفق حجم الاكسجين هذا تتبين لحظة الاضافات وتأتى لحظة التوقف عندما يبين مقياس التدفق الحجم المحدد الذى دخل المحول .

ويمكن اعداد مجموعة من هذه الخطوط البيانية بحيث تشمل التحاليل

الكيميائية المألوفة للحديد الزهر • وتصلح هذه الطريقة لآى نوع من أنواع النفخ •

وعند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول يزود مقبّاس التدفق بجهاز لتعيين كمية الأكسجين المستعملة منذ بدء النفخ عند أية لحظة •

وتحدد لحظة التوقف من قراءات الجهاز واستهلاك الأكسجين اللازم لأكسدة ٠.١٪ ك • هناك طريقة أخرى لمراقبة الانصهار بمعرفة درجة حرارة الشعلة ويرى في شكل (٦٠) تنظيم الأجهزة المستخدمة لقياس درجة حرارة الشعلة فتوضع لمبة قياسية مع بيرومتر ضوئى يضىء بهذه اللامبة فى ناحية من الشعلة ثم يوجه بيرومتر آخر الى الشعلة فيستقبل الطاقة الضوئية المنبعثة من كل من الشعلة والللمبة مختركة شعلة اللهب • فإذا كانت الطاقة الضوئية الكلية التى يستقبلها هذا البيرومتر مساوية للطاقة الضوئية التى يستقبلها البيرومتر الموجه الى الللمبة العبارية كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة الشعلة مساوية لدرجة حرارة فتيلة الللمة وعندما تتساوى قراءتا كلا البيرومترين يتحرك مؤشر الجلفانومتر المتصل بالمؤشر المناظر مشيرا الى صفر التدريج •



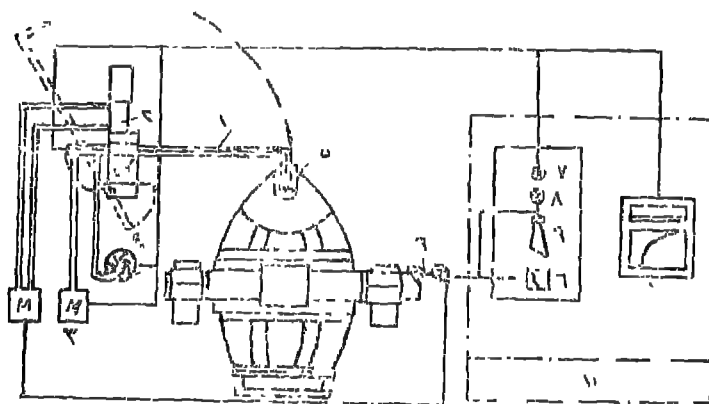
شكل (٦٠) : تنظيم لقياس درجة حرارة اللهب

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| ١ - جهاز تسجيل درجة الحرارة | ٢ - الشعلة      |
| ٣ - ترموستات                | ٤ - لمبة عيارية |
| ٥ - بارومترات               | ٦ - موتور مؤازر |

أما اذا كانت الطاقة المستقبلة من الللمبة أكبر أو أقل من الطاقة المستقبلة من الشعلة ومأخوذة منه بواسطة البيرومتر الآخر فان المؤشر ينحرف عن الصفر الذى بدوره سوف يغير منزلق الترموستات بطريقة

أو بأخرى ٠٠ الأمر الذى يؤدي الى زيادة أو نقص درجة حرارة الفتيلة حتى تتساوى القراءان فى كلا البيرومترين ويقوم جهاز تسجيل بتدوين درجة الحرارة التى حددت بهذه الطريقة ٠٠ ولقد وجد أن درجة حرارة الشعلة فى محول توماس تكون أقل من درجة حرارة المعدن بثمانية درجات مئوية وذلك أثناء فترة ازالة الفوسفور فى نهاية النفخ وقد سغير درجة الحرارة هذه قليلا فى المصانع المختلفة تبعا لظروف الانتاج ولكنها تبقى دائما ثابتة فى معظم الأحوال اذا كانت الظروف واحدة فى نفس المصنع ٠

من هذا نرى أنه يمكن تقدير درجة حرارة المعدن داخل المحول بمعرفة درجة حرارة الشعلة وهذه العملية لها أهمية بالغة فى السيطرة على سير العملية أثناء النفخ وسلوك التفاعلات المختلفة داخل المحول ٠ ويمثل شكل (٦١) احدى الوحدات حيث تقاس درجة المعدن فى المحول مباشرة ٠



شكل (٦١) : يوضح رسما تخطيطيا لحدى الوحدات المستخدمة لقياس درجة حرارة المعدن داخل المحول

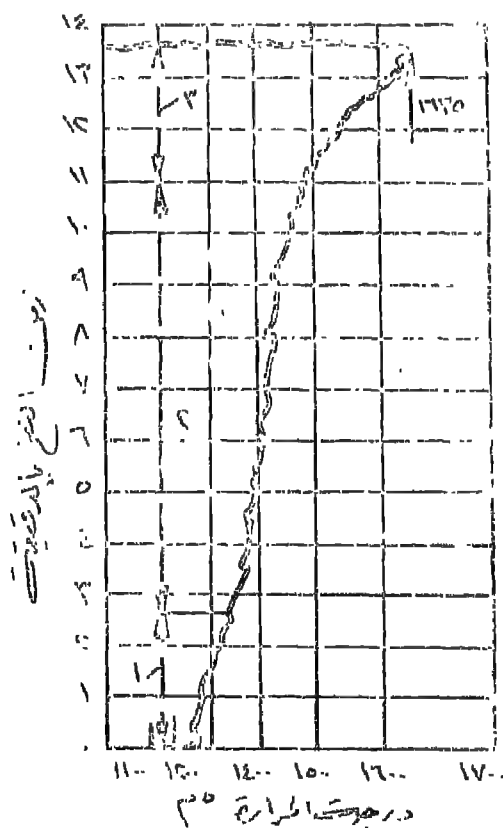
- |  |                     |
|--|---------------------|
| ١ - الأنبوبة مرفقية                        | ٢ - جهاز ادارة      |
| ٣ - صمامات مغناطيسية على خط الهواء المضغوط |                     |
| ٤ - مضخة تدفع الماء لتبريد الأنبوبة        |                     |
| ٥ - بارومتر                                | ٦ - مفتاح كهربائى   |
| ٧ - اللهبية الحمراء                        | ٨ - اللهبية البيضاء |
| ٩ - صفارة                                  | ١٠ - مسجل           |
| ١١ - غرفة المراقبة                         |                     |

ولقياس درجة الحرارة يخفض البيرومتر الى الفوهة تحت منطقة تكوين الشعلة وآليا تسحب الأنبوبة جانبا ولا تسنفرق قياس درجة الحرارة

أكثر من ١٥ نايبة وندون قراءات البيرومير على جهاز تسجيل خاص ثم يرسم منحنى لدرجات الحرارة كالمبين فى شكل (٦٢) .

وبمقارنة درجات الحرارة المبينة بهذا المنحنى بالقياسات التى يعطيها الازدواج الحرارى نجد أن الخطأ لا يتعدى ١٠ درجة مئوية .

وبهذه الطريقة تتمكن مثل هذه الوحدات من العمل مستقلة لمدة طويلة مع سهولة فى المراقبة كما سهّل تنظيم درجات الحرارة بإضافة السبائك المبردة أو التى ترفع درجة الحرارة حسب الحالة . ومن حسن الحظ فقد تم استنتاج علاقات محددة تربط بين منحنيات الطيف لشعلة اللهب والتحليل الكيميائية للمعدن .



شكل (٦٢) : يبين الخط البياني لتغير الحرارة :

١ - أكسدة السليكون

٢ - احتراق الكربون

٣ - احتراق الفوسفور

## الفصل السابع

### صناعة الصلب في المحولات الدوارة والأفران الانبوبية الدوارة

لقد كان الهدف من تطوير صناعة الصلب في المحولات الى ما وصات اليه في عصرنا الحديث هو الحصول على صلب يضارع في جودته صلب الأفران المفتوحة ولكن كان لهذه الطرق بعض العيوب .

أحد هذه العيوب تصاعد كمية كبيرة من الأدخنة البنية اللون عند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين وتحتاج تنقية هذه الأدخنة الى أجهزة واستعدادات خاصة .

ويمثل القدر الضائع من الحديد كأكسيد حديد حوالى ١٪ يتصاعد مع الغازات الخارجة من المحول كما أنه نتيجة للتلامس المباشر بين تيساير الأكسجين والمعدن ترتفع درجة الحرارة موضعيا بشدة . ولعل أهم الصعوبات التى تصادفنا فى هذه الطريقة هى تحويل الحديد الزهر الثانى بالفوسفور الى صلب به نسبة منخفضة من الفوسفور بحيث يحتوى على أقل نسبة من النتروجين .

كما أنه من الصعوبة البالغة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على فوسفور من ٠.٥ - ١.٠٪ بطريقة توماس المعتادة .

واليوم أصبحت الطرق الأكثر شيوعا فى التطبيق فى صناعة الصلب هى التى تضمن النقاط التالية :

( أ ) انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية والعملية .

( ب ) التمكن من نفخ الحديد الزهر مهما كانت تحاليله الكيميائية .

( ج ) انتاج صلبات بأوزان كبيرة .

( د ) تلافى تصاعد الأدخنة بكميات كبيرة .

( هـ ) أن تكون الطريقة اقتصادية .

ولقد أمكن تحقيق معظم هذه الشروط بواسطة التطورات الحديثة  
في طرق نفخ الحديد الزهر بالأكسجين في الوحدات الدوارة .

## ١ - نفخ الحديد الزهر في محول دوار

ظهرت هذه الطريقة الى الوجود الصناعي في بلاد السويد ولقد كان  
من دواعي ظهورها الاعتقاد بعدم تعرض الحديد الزهر في المحول النابت  
للدخول الكافي مهما كان ضغط تيار الأكسجين مرتفعاً مما يؤدي الى ارتفاع  
درجة حرارة المعدن موضعياً في منطقة التفاعلات فيتبخر جزء من الحديد  
ويضبع مع الغازات المتصاعدة كأبخرة بنية .

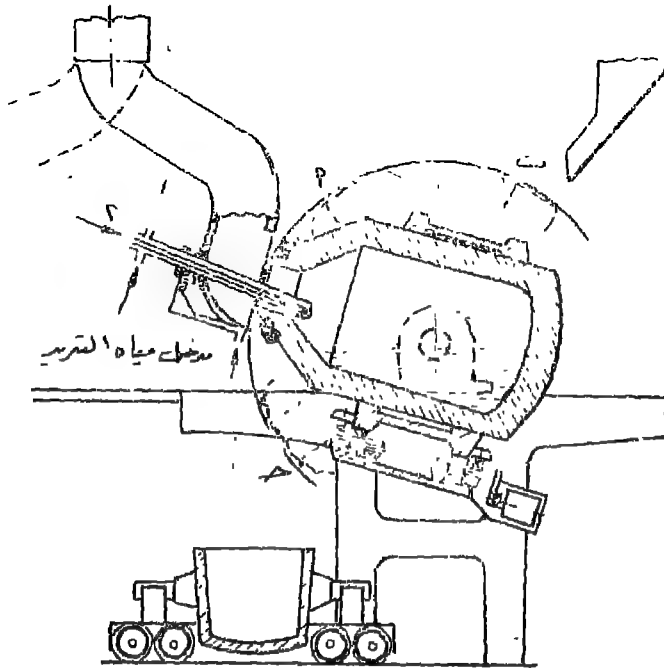
كما يضيع جزء آخر من الحديد في الخبث عند نفخ الحديد الزهر  
الذي يخشى على نسبة عالية من الفوسفور وتنحصر الخطوط العريضة  
لهذه الطريقة أنه يمكن للمعدن أن يختلط اختلاطاً فعالاً مع دوران المحول  
بغض النظر عن ضغط الأكسجين وبالخلط السليم نتلافى وصول بعض  
أجزاء المعدن الى درجة التسخين المفرط وما يتبع ذلك من تكون الأبخرة  
البنية .

وبتغيير سرعة دوران المحول وطريقة نفخ الأكسجين نتمكن من تنظيم  
العملية والسيطرة عليها . ونرى في شكل ( ٦٣ ) شكلاً لأحد المحولات  
الدوارة سعة ٣٠ طناً ويتمكن المحول من الدوران حول محوره الأفقي مرتكزاً  
على مركز دوراني لشحنه بالحديد الزهر وخلافه وكذلك لصب الصلب  
والجيت أثناء النفخ ويأخذ المحول وضعاً مائلاً بحيث يصنع زاوية بين  
١٥ - ٢٠ درجة مع الأفقي .

ويدفع الأكسجين الى سطح المعدن خلال فوهة المحول بواسطة  
أنبوبة تبرد مائياً ( بواسطة الماء ) وتميل ٨-٢٥ درجة على الأفقي ويدور  
المحول حول محوره الطولي أثناء النفخ بمعدل ثلاثين دورة في الدقيقة .

يستخدم طوب الدولوميت المقطرون في صنع بطانة هذا المحول وتغيير  
هذه البطانة بعد خمسين صبة ولقد وجد حالياً أن هذا الرقم يمكن أن يرتفع  
الى الضعف أو الى ثلاثة أضعاف باستعمال طوب المجنزيت .

يمكن سحب المحول بعيداً عن جهاز الدوران ويحل آخر بعمله  
ويفضل أن يكون هناك جهازان للدوران الآلي مع ثلاثة محولات بحيث يعمل  
اثنا منهما ويكون الآخر بعيداً عن العمل لأغراض تغيير البطانة وخلافه .



شكل (٣٦) : بين معولا دوارا سعة ٣٠ طنا لتفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص وفي الشكل نرى وضع المحول في العلات الآتية :

(أ) عند شحن الحديد الزهر (ب) لاصامة شحن الحام والجير  
(ج) انبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات

١ - انبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات ٢ - فصبة دفع الاكسجين

من المستحسن أن يحتوى الحديد الزهر المستخدم في المحولات الدوارة على التحاليل الآتية :-

٢ ر - ٣ ر ٠	سليكون
٨ ر - ٢٠ ر ٠	فوسفور
٣ ر ٥	كربون
٠ ر ١	فاناديوم
٠ ر ٠ ٥ - ٠ ر ٠ ٦	كبريت
٥ ر - ٧ ر ٠	منجنيز

واذا احتوى الحديد الزهر على نسبة عالية من السليكون فانه يفضل في هذه نفخة بالاكسجين في البودقة حتى تنخفض نسبة السليكون به ثم يشحن في المحول بعد ذلك .

وكفاءة يستخدم في اغراض التبريد خام الحديد أو الركام ( الكتلة )  
الحر يحتوى على ٥٥٪ منه حديد كما تستعمل الحردة أيضا في هذا الصدد  
وعندما يتم التبريد بواسطة خام الحديد بفردده فانه يضاف بمعدل ١٢-١٤ ،  
اما اذا انبثقت الحردة فقط بدلا من خام الحديد فان استهلاكها يصل نظريا  
الى ٤٠٪ بينما لانزيد في الواقع عمليا عن ١٥-٢٠٪ ويجب أن تكون هذه  
الحردة صغيرة الاحجام فالكبيرة منها قد لا تنصهر تماما .

ويسخن نفع الحديد الزهر الفوسفورى من ٣٥-٤٠ دقيقة اذا كانت  
درجة نقاوة الأكسجين ٩٧٪ ومعدل تدفقه من ٦٥ - ٧١ م<sup>٣</sup> لكل طن من  
الحديد الزهر . والحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من  
الفوسفور لا يستغرق وقتا طويلا في النفخ فتتخفض مدة النفخ الى  
٢٥ دقيقة .

ويمكن أيضا اختزال زمن النفخ كثيرا باستعمال الحثب المتخلف  
عن المشحنة السابقة ( اذ يمثل الجير الجزء الأعظم من هذا الحثب كما يحتوى  
أيضا على كمية من أكاسيد الحديد وقليل من الفوسفور ) وبإضافة بعض  
الجير الناعم والحام « الحردة » الركام أثناء النفخ دون امالة المحول .  
ويجرى النفخ على النحو التالى :-

الفترة الأولى قبل ازالة الحثب وتستمر لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة ينخفض  
معدل الكربون الى ٢٪ والفوسفور الى ٠.٢٪ ثم يزال سريعا ويحتوى  
هذا الحثب على ٢٢٪ منه فوسفور ٢٠ ولا تزيد نسبة الحديد به عن ٣-٤٪  
وترتفع درجة الحرارة الى ١٥٥٠-١٦٠٠ درجة مئوية .

ويكفل لنا أكسدة الحديد مبكرا في أول مراحل النفخ وخلط المعدن  
جيذا نتيجة لدوران المحول ، خبنا ذا فاعلية كبيرة وسرعة في ازالة  
الفوسفور .

عندما يستخدم المحول المألوف ( العادى ) في نفخ الحديد الزهر الذى  
يحتوى على أكثر من ٠.٢٪ فوسفورا ، بالأكسجين الحالى فان الحثب  
الحديدى يسبب أكسدة الكربون بشدة وبتصاعد تبعا لذلك كنبر من أول  
أكسدة الكربون فيزداد تنافر الحديد خارج المحول وتنتج لنا نفخ الحديد  
الزهر في المحول الدوار فرصة تنظيم معدل تأكسد الكربون بدقة مع  
ازالة الفوسفور .

ثم يقل دفع الأكسجين فيزداد دوران المحول لحظيا حتى يقل معدل  
تأكسد الكربون فتزداد أكاسيد الحديد في الحثب تبعا لذلك ٠٠ الأمر الذى  
يؤدى الى الاسراع من معدل أكسدة الفوسفور وبالعكس فاذا كانت درجة



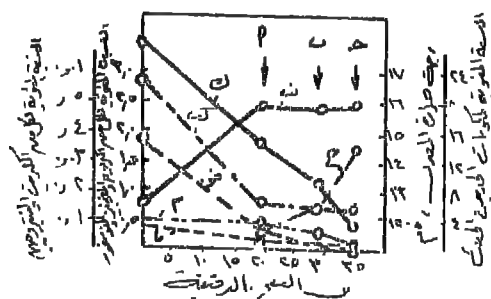
الحرارة منخفضة فإنه يجب أن يزداد دفع الأكسجين ونعل سرعة دوران المحول فيرتفع معدل تأكسد الكربون وتزداد الحرارة بينما نقل أكاسيد الحديد بالخبث .

وبمعرفة معدل دفع الأكسجين ودرجة حرارة الغازات المنبعثة عند موه المحلول مقبسة بالبيرومتر المعتاد يمكن تنظيم درجة الحرارة والسيطرة على العملية .

وفي داخل المحول يحترق جزء كبير من أول أكسيد الكربون وعندئذ يزداد معدل تأكسد الكربون فيتصاعد تبعا لذلك أول أكسيد الكربون بفزارة وتفقد كمية هائلة من الحرارة معها .

وتدوم الفترة الثانية عشرة دقائق يزال بعدها الخبث الذي يحتوى على ١٧٪ فوسفور و ٦٪ حديد وفي هذه الحالة يحتوى المعدن داخل المحلول على حوالى ١٪ كربون وعندئذ تبدأ فترة النفخ اللاحق حتى تصل نسبة الكربون بالصلب الى النسبة المنشودة ( دون اتباعها بعملية الكربنة ) .

ويستغل الخبث الناتج من كلا الفترتين كسماد للأرض الزراعية ويعطينا شكل (٦٤) صورة للسلوك النمطي الذي تسلكه الشوائب أثناء تأكسدها منذ نفخ الحديد الزهر الفوسفورى بالأكسجين الحاصل فى المحول الدوار تحت الظروف الآتية :



شكل (٦٤) : يمثل اكسدة الشوائب أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين فى محلول دوار :  
 أ - إزالة الخبث الأصلي  
 ب - إزالة الخبث الثانوى  
 ج - الصلب المنصهر

وزن الحديد الزهر ٣٠ طنا - تركيب الحديد الزهر ٣٠٥٤٪ كربون ، ١٢٪ سليكونا ، ٠٤٩٪ منجنيزا ، ١٨٤٪ فوسفورا ، ٠٥٨٪ كبريتا ، معدل استهلاك الجير ١٣٨٪ والحام ١١٩٪ من وزن الحديد الزهر معدل دفع الأكسجين ٣٦٥ / طن من المعدن .

يتأكسد الفوسفور في نفس الوقت مع الكربون ولهذا فإنه عندما يصل نسبة الكربون الى ٠.٥٪ تصبح نسبة الفوسفور ضئيلة للغاية وعند نقطة ج يكون تركيب الصلب هو : ٠.١٨ ر / فوسفورا ٠.١٣ ر٪ كبريتا ، ٠.٠٢ ر٪ نتروجينا وبالرغم من انخفاض نسبة المنجنيز في الحديد الزهر فان درجة ازالة الكبريت عالية اذ بلغت ٩٧٪ ويرجع هذا الى سرعة تكوين الحبت دى الفاعلية الكبيرة وأساسا بالخلط الجيد الذى له أكبر الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب .

وعند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مع نسبة عالية من الكبريت يزال الحبت مبكرا بعد بدء النفخ بخمس الى عشر دقائق .

فى حالة ما اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور حتى ١.٨٪ يمكن الحصول على صلب منخفض الفوسفور بازالة الحبت مرة واحدة بدلا من مرتين وبذلك تختصر خطوات العمل باستخدام خام الحديد كعامل مبرد فان التركيب الكيميائى للصلب الناتج عندما يكون وشبكا للصب من المحول :

ك	٠.٣٥ ر٪
م	٠.٩٤ ر٪
فو	٠.٢٢ ر٪
كب	٠.١٥ ر٪
ن ٢	٠.٠٢ ر٪

وتتغير نسبة المنجنيز ، من ٠.٦ ر- ١.٨ ر٪ متوسط معدل دفع الأكسجين هو ٣م٦٩ طن ويضاف الخام بمعدل ١.١٥ ر٪ والجير بمعدل ١.٤ ر٪ من وزن الصلب وكانت درجة حرارة الصلب عند صبه ١٦٤٠ درجة مئوية وهذا الصلب الناتج لا يقل بأى حال من الأحوال عن صلب الافران المفتوحة وهو يستعمل فى صنع ألواح السفن والصفائح المستخدمة لأغراض التشكيل المختلفة كالثنى والسحب .

وتصل الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٩٢٪ من وزن الحديد الزهر المشحون وقد تصل هذه النسبة الى ١٠٠٪ باضافة خام الحديد من أجل التبريد .

وفى هذه الطريقة تنخفض كثيرا كمية الحديد الضائعة مع الغازات المنبعثة من المحول عنها عن طريقة النفخ العلوية بالأكسجين فى المحول الثابت ويعزى هذا الى تماثل درجات الحرارة فى جميع أجزاء المشحنة دون

الارتفاع الشديد في أحد المواضع بها ولهذا فاننا لانرى هناك حاجة الى  
اجهزة خاصة لتنقية الغازات .

ويستهلك الطن من الصلب الناتج حوالى ٢٠ كجم من الدولومب  
ويمكن تلخيص اجمالى مميزات هذه الطريقة فيما يلى :-

١ - ارتفاع الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج لاستغلال كمية كبيرة  
من حام الحديد اذ أن احتراق أول أكسيد الكربون داخل المحول يرفع من  
درجة حرارته كثيرا .

٢ - يمكن انتاج الصلب متوسط الكربون من الحديد الزهر  
الفوسفورى بإيقاف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى حد معين دون اعادة  
النفخ ثم تتبع ذلك بعملية الكربنة .

٣ - ازالة الكبريت بدرجة كبيرة .

٤ - انخفاض نسبة النتروجين بالصلب حين تبلغ نقاوة الأكسجين  
الذى ينفخ بالمحول ٩٧ / .

٥ - سهولة ضبط معدل تأكسد الكربون وذلك بتغيير سرعة دوران  
المحول .

٦ - انخفاض كمية الحديد الضائعة مع الغازات وفى الحبث ولهذا  
فانه لا داعى لاستعمال اجهزة التنقية .

٧ - امكانية امرار الحديد الزهر بهراحل تصنيع نالية فى الفرن  
الكهربائى أو الفرن المفتوح .

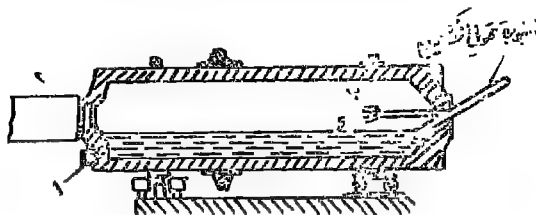
٨ - يمكن زيادة سعة المحولات الدوارة حتى ١٠٠ طن وأكثر .

## ٢ - صناعة الصلب فى الأفران الأنبوبية الدوارة

بعد عدد من التجارب تم التوصل بنجاح الى صنع الصلب فى  
أفران أنبوبية دوارة وعند اصطدام تيار الأكسجين بمصهور المعدن ترتفع  
درجة الحرارة بشدة فى منطقة الاصطدام ولكن بدوران الفرن نتلقى تأثير  
الارتفاع الموضعى فى درجة الحرارة على بطانة الفرن اذ تغير البطانة  
موضعها بانظام فتكون تارة بمثابة قاع وتارة أخرى سقفا ولهذا فان  
تآكل البطانة يكون أكثر انتظاما وبذلك تطول عمرا .

الى جانب هذا فان التقلب الشديد أثناء الدوران ليساعد كثيرا على  
أكسدة الشوائب وازالة الكبريت .

ونرى فى شكل ( ٦٥ ) رسما لفرن دوار سعة ٦٠ طنا وطول هذا الفرن ١٤ر٦ مترا وقطره الداخلى ٢ر٧ والخارجى ٣ر٧ منرا .



شكل (٦٥) : يبين فرن الروتور الذى يسع ٦٠ طنا

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| ١ - فتحة الصب   | ٢ - غازات العادم |
| ٣ - فوثة ثانوية | ٤ - فوثة اصلية   |

ويطين هذا الفرن بطبقتين من الطوب الحرارى احدهما ملاصقه بهيكله وتقوم بحمايته وتصنع من طوب المجنزيت وسمكها ١٢٠ مم اما الطبقة الأخرى المعرضة للمعدن فتكون دكا من خليط الدولوميت المقطرن وسمكها ٣٨٠ مم .

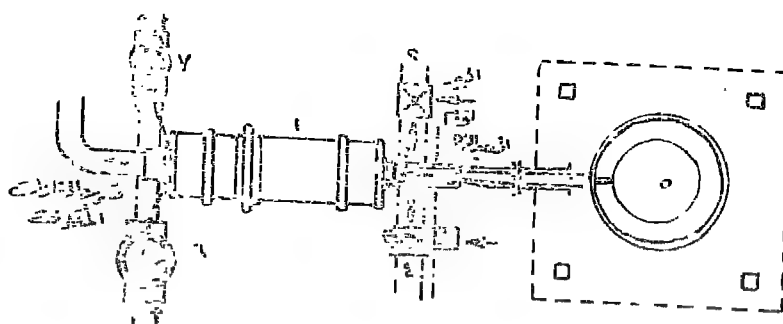
وبالفرن فتحتان أحدهما أمامية لشحن الحديد الزهر واضافه الاضافات ونفخ الاكسجين والأخرى خلفية لتصريف الحبت والغازات المتكونة .

ويدور الفرن مبتدءا بمعدل ٠.١ - ٠.٥ دورة/دقيقة ويتدفق الاكسجين الى الفرن فى نيارين نفائنين ( الاكسجين الأساسى والنانوى ) ، ويمكن دفع الاكسجين الأساسى الى المعدن خلال أنبوبة تبرد بالماء فى نهايتها فوهة لتركيز النفخ على المعدن وأكسدة الشوائب وتقلب المعدن ويدفع الاكسجين النانوى فوق سطح المعدن حتى يحترق أول أكسيد الكربون الناتج عن أكسدة الكربون ومن هذه الحرارة المتكونة يمتص المعدن حوالى ٦٠٪ فقط .

وتوضع المدخنة على الجانب المقابل لفتحة نمويل الاكسجين لتندفع الغازات المتكونة خلالها ولهذا فان سحب الغازات والدخان يكون أيسر بكثير عن المحولات .

كما أن تنفخة الغازات ليست بالعملية الصعبة . وتطبق الخطوات الآتية عند العمل فى الأفران الدوارة : ( شكل ٦٦ ) .

يقوم جهاز متحرك بشحن الفرن بالجبر والخام والنفايات المعدنة خلال الفتحة الأمامية ثم يدفع الجهاز جانبا ويضبط المسقط المائل



شكل (٦٦) : الأفران الدوارة

- ١ - الفرن
- ٢ - جهاز شحن الخام والجبر الى الفرن
- ٣ - مسقط متحرك لسحب الحديد الزهر
- ٤ - عربة لتخليص ودقات الأكسجين
- ٥ - الفرن العالي
- ٦ - بودقة صب الصلب
- ٧ - أواني الخبث

المنحرك وينم سجن الحديد الزهر من الفرن العالي الى هذا الفرن الدوار الذي يسع ٦٠ طنا بعد ذلك يبعد المسقط المائل ثم تتحرك عربة تحمل أنابيب أكسجين الى فتحة الشحن ثم تتركب أنابيب الأكسجين على مزلقان خاصة وتولج في الفرن الدوار بواسطة موتور كهربائي وعندئذ يبدء الأكسجين في التدفق .

بواسطة هذا الفرن يصبح بالإمكان تحويل الحديد الزهر الفوسفوري اما الى خام نصف مصنع يصلح لانتاج الأفران المفتوحة واما الى صلب جاهز للنشكيل .

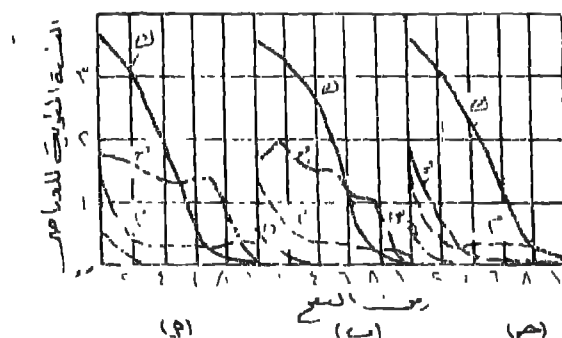
ففي الحالة الأولى يوفى النفخ بعد ٤٠ دقيقة حين يحتوى المعدن على ١٪ كربونا وحوالى ٠.١٪ فوسفورا وعندئذ يزال معظم الخبث قبل صب المعدن من الفرن .

ونستخدم أجهزة اماله لازالة الخبث عند صناعة الصلب الجاهز للنشكيل . في هذا الفرن يزال الخبث عندما يحتوى المعدن على حوالى ٢٪ كربونا وتكون نسبة الفوسفور حوالى ٠.١ - ٠.٢٪ ويحتوى هذا الخبث على نسبة من الحديد منخفضة نوعا ( ٨ - ١٢٪ ) ولكنه يحوى على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور ( ١٨ - ٢٠٪ ) ولهذا فهو يستخدم بعد معالجته كسماد للتربة الزراعية .

بعد أن يزال الخبث يتكون خبث جديد ويضبط بإضافة الجير وخام الحديد ثم يعاد النفخ ثانية حتى تصل نسبة الكربون الى النسبة المنشودة .

ويصب الصلب مع بقاء الخبث الجديد في الفرن ثم يخلط بخام الحديد والجير ويسعمل في الصبب التالية . وعند صب الصلب تفتح فتحة الصلب الخاصة عندما نكون في موضعها العلوى ويسفقرق صنع الصلب الجاهر للتشكيل ( أول التسحين حتى صب الصلب ) من الحديد الزهر الفوسفورى ساعتين منها ١٥ دقيقة نضع في سحن الجير وخام الحديد ، ١٠ - ١٥ دقيقة لشحن الحديد الزهر . ٥٠ - ٦٠ دقيقة في النفخ وإزالة الخبث ، ١٠ دقائق لصب الصلب ٠٠ وأما ما يتبقى من الفرن فيضبع في الأعطال التي تحدث بين الصبات وبعضها . وفي شكل ( ٦٧ ) نجد مقارنة لأكسدة الشوائب في الحديد الزهر عند النفخ اما بالهواء أو بخليط الهواء والأكسجين في المحول ، وبنفخ الأكسجين في الفرن الدوار يتضح أن فترة أكسدة الفوسفور قد تقدمت مرة أكسدة الكربون .

ويرجع هذا الى سرعة تكون خبث الحديد الجيرى ( الحبث الجيرى الغنى باكاسيد الحديد ) ويساعد اضافة خام الحديد بكميات كبيرة في سرعة تكوين هذا الحبث كذلك فان الحرارة العالية التي تسبج عن احتراق أول أكسيد الكربون في الفرن تكون هي الأخرى لها نفس التأثير .



شكل ( ٦٧ ) : منحنيات تبين احتراق العناصر في طرق النفخ المختلفة للحديد الزهر التوماسي :  
( أ ) طريقة النفخ بالهواء (ب) طريقة النفخ بالهواء المزود بالأكسجين  
(ج) الفرن الدوار

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور به فلا تتعدى ٠.٣٪ اذ لا يختزل أى كمية من الفوسفور الموجود في الخبث ويعود الى المعدن .

ويتوقف معدل النفخ على معدل تدفق تيار الأكسجين الأساسى وضبطه وكذلك على معدل استهلاك خام الحديد .

وعندهما يتأكسده الكربون بمعدل كبير يتكون غاز أول أكسيد الكربون بكميات ضخمة ويتضاعف بغزارة مما يؤدي الى انبعاث كل المعدن المنصهر والخبث وقد يصطدم تيار الأكسجين النانوى بهما ويشترك هو الآخر فى عمليات الأكسدة المختلفة .

ومن حسن الحظ أنه عند صناعة الصلب فى الفرن الدوار يزال الكبريت لدرجة كبيرة تفوق أية طريقة قاعدية أخرى لصناعة الصلب اذ تنفرد هذه الطريقة باحتراق الكبريت جزئيا الى ثانى أكسيد الكبريت حيث تكون درجة حرارة الخبث عالية . ومن تحليل الغازات المتصاعدة من المحول يمكن القول بأن ١٥٪ من الكبريت قد أزيل فى صورة غاز ثانى أكسيد الكبريت .

ويحتوى الصلب المصنوع فى الفرن الدوار على حوالى ٠.٠٠٤٪ من النتروجين عندما تكون درجة نقاوة الأكسجين ٩٥٪ .

### ٣ - الموازنة المادية والحرارية فى صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار :

- للسهولة تعتبر الحسابات لطن واحد من الصلب الناتج .
- الموازنة المادية لطن واحد من الصلب مبينة فى جدول ٤٧ .

بعضى انخفاض كمية الحديد الزهر اللازمه لصنع طن واحد من الصلب الى احتزال الحديد فى كمية الخام الوفيرة التى تضاف الى الشحنة والى انخفاض كمية الحديد الضائعة .

جدول ( ٤٧ )

المواد الداخلة	كجم	المواد الناتجة	كجم
الحديد الزهر الفوسفورى	١٩٧	صلب	١٠٠٠
جير	١٢٥	خبث	٢١٠
خام حديد	١٥٥	غازات منصاعدة	٢٠٠
أكسجين	٩٠	غاز	١٥
نتروجين	٢٠		
خسرة	٣٨		
المجموع الكلى	١٤٢٥	المجموع	١٤٢٥

ويصل المعدل الكلى لنفخ الأكسجين لكل طن من الصلب إلى ٣م٩٠  
يستهلك حوالى ثلثه فى حرق أول أكسيد الكربون .

وتكون نقاوة نيار الأكسجين الثانوى ٧٠ - ٩٠ / و إذا شجن ١.١٢  
الأكسجين الثانوى فى مسترجع الحرارة فانه من الممكن استعمال  
الأكسجين بدرجة نقاوة أقل حتى اذا ما وصلت درجة حرارته بالتسخين  
إلى ٨٠٠ - ١٠٠٠ م فانه يمكن استبدال الأكسجين الإضافى بالهواء .

ويجب أن يقل غاز الأكسجين المنفوخ بكمية معادلة للأكسجين  
المستفاد به من خام الحديد . وعلى وجه التقريب فان كمية الأكسجين  
الموجودة بخام الهيماتيت المضاف ( ح ٢ أ ٣ ) والذى يحتوى على الحديد  
بنسبة ٥٠٪ وبتقدير أن ٨٠٪ من الأكسجين هو الذى يستفاد به :

$$٣م٢٧ = \frac{٣م٢٧ = ٨ \times ٤٨ \times ١٦٠ \times ٠٥ \times ١٥٥}{١٦٠ \times ١١٢}$$

حيث :

$$\frac{١٦٠}{١١٢} : \text{نسبة تحول الحديد الى ح ٢ أ ٢}$$

$$\frac{٤٨}{١٦٠} : \text{كمية الأكسجين الموجودة فى ١ كجم من ح ٣ أ ٣}$$

إذا : وزن الأكسجين الباقي = ٩٠ - ٢٧ = ٦٣م٣ / طن .

وهذه هى الكمية التى تدخل الفرن على الهيئه الغازية وتقدر النسبة  
النى ينفع بها من غاز الأكسجين بحوالى ٩٠٪ أى أن معدل نفخه لكل طن  
من الصلب = ٧٠م٣ .

ويلزم لانتاج طن الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى ١٢٥ كجم  
من الجير وتقل هذه الكمية حتى تصبح ٢٠ كجم لكل طن اذا كان حديد  
زهر الأفران المفتوحة يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور .

وقد يستخدم الحجر الجيرى الناعم بدلا من أكسيد الكالسيوم وفى  
هذه الحالة نحتاج الى كمية من الحرارة اللازمة لتحليل الحجر الجيرى  
ولذلك يجب علينا أن نقلل من كمية خام الحديد المضافة مما يؤدى الى  
نقص الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .

وبمقارنة الموازنة المادية فى الطرق المختلفة لصناعة الصلب من  
الحديد الزهر الفوسفورى :



• (أ) بنفخه بالهواء فقط

• (ب) بنفخه بالهواء المزود بالأكسجين حتى ٣٠٪

• (ج) بنفخه في الأفران الدوارة

نجد أن كمية الحديد الضائعة في الفرن الدوار تعادل ٢٢٪ بينما  
في طريقة النفخ السفلية بالهواء تساوى ٣٤٪ ولا تقل عن ٤٧٪ عند  
نفخه بالهواء المزود بالأكسجين

وفي جدول ٤٨ بيان للاستهلاكات الحرارية في الطرق المختلفة  
لتصنيع الحديد الزهر الفوسفورى ( % )

جدول ( ٤٨ )

الفرن الدوار	طريقة النفخ (توماس) للنفخ بالهواء المزود بالأكسجين ٣٠٪	طريقة النفخ السفلية بالهواء (توماس)	الغرض الذي تبذل فيه الحرارة
١١ر٤ × × (١٣٠٠) ١١ر٤	١٣ر٣٥ × (١٢٥٠) ١١ر١	١٤ر٥ ( ٥١٢٥٠ م ) ١٠ر٧	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة الى ٥١٦٥٠ كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجير كمية الحرارة اللازمة لتسخين الأكسجين الى ٥١٦٥٠ م كمية الحرارة اللازمة لاختزال خسام الحديد أو لصهر الخرودة كمية الحرارة المنقودة مع الغازات المتصاعدة عند ٥١٤٥٠ م حرارة أول أكسيد الكربون غير المحترق الحرارة المنقودة بالاشعاع وغيره × بعد النفخ المبدئي × مباشرة من الفرن العالي
٦ر٥ ٤٦ر٣ ( ١٠١ كجم من خام الحديد ) ٥ر٧ ٤ر١ ١٤ر٦	١٢ر٦ ( ٣٠ كجم من خام الحديد ) ١٣ر٣٥ ٣٤ر١ ٩ر٦	٣ر٥٥ ( ٦١ كجم حردة ) ١٩ر١ ٣٧ر٤ ٩ر٢	

فى طريقة الفرن الدوار تبذل الحرارة التى ينفخ بها الأكسجين ( لتسخين الحديد الزهر ) ، والجبر لصهر الحردة وأيضاً لاختزال خام الحديد بنسبة ٧٥٦٪ بينما لا تتعدى هذه النسبة فى طريقتى توماس وبسمر ٣٣٦ ، ٤٣٪ على الترتيب .

### جودة الصلب المصنوع فى الفرن الدوار

تصنع أنواع الصلب التى تحتوى على ٠٥ - ٢٥٪ كربونا فى الأفران الدوارة ويمكن أيضا إنتاج أنواع الصلب التى تحتوى على نسبة من الكربون أعلى من هذه النسبة وبهذا يمكن نغطة الاحتياج (سد الحاجة) من الصلب الانشائى والألواح اللازمة لبناء السفن والغلايات وكذلك الصلب الذى يدخل فى صناعة الأسلاك الفولاذية وألواح الصاج والقضبان .

ويمتاز الصلب المصنوع بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور والكبريت والأكسجين فملا لا تتعدى نسبة الأكسجين به ٠٠٥ - ٠١٥٪ كما فى صلب الأفران المفتوحة .

ومن ناحية التحمل للصدمات فلا يقل الصلب المصنوع فى الفرن الدوار عن منتجات الأفران المفتوحة بأى حال من الأحوال .

### المؤشرات الفنية والاقتصادية لطريقة الفرن الدوار

يستهلك الطن من الصلب المنصهر حوالى ٥٠ كجم من الدولوميت ويمكن خفض هذا المعدل الى ٣٠ كجم/طن ولا يزيد الاستهلاك من الحرارية للأغراض الأخرى عن ١ كجم/طن .

وباستعمال الفرن الدوار سعة ٦٠ طنا يمكننا الحصول على ٢٠٠٠٠ طن من الصلب شهريا وتقدر السعة اليومية لفرن دوار يسع ١٠٠ طنا من : ١٠٠٠ - ١٢٠٠ طنا .

## الفصل الثامن

### طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب

يرجع الفضل في اكتشاف طريقة الصب المستمر لانتاج الكتل مباشرة من الصلب الى بسمر وكان ذلك عام ١٨٥٧ حين حاول امرار تبار من الصلب المنصهر خلال درافيل ببرد بالمياه في ماكينة درفلة الألواح الفولاذية حيث تطوق هذه الدرافيل بجلب تمنع تسرب الصلب المنصهر بين محاورها .

هذا ولا تزال المجهودات المفضنة مستمرة حتى يومنا هذا بصدد تطوير طريقة التشكيل بالدرفلة بحيث لا تستخدم كتلا من الصلب المتجمد لهذا الغرض ولكن للأسف تقابلنا في التطبيق صناعات بعض الصعوبات الأساسية مثل :

- ١ - الحاجة المستمرة لاستبدال الدرافيل نتيجة لتآكل سطحها .
- ٢ - صعوبة السيطرة على العملية .
- ٣ - انخفاض جودة وسلامة السطح النهائي للألواح الناتجة .

ولما جاءت المحاولات في هذا السبيل مخيبة للآمال في بداية هذا القرن اتجه التفكير الى انتاج قطاعات نصف مصنعة بدلا من القطاعات نهائية التشكيل وذلك بطريقة مستمرة لعملية الصب وتشمل القطاعات نصف المصنعة ، والكتل المدرفلة المعدة لعمليات تشكيل لاحقة للألواح .

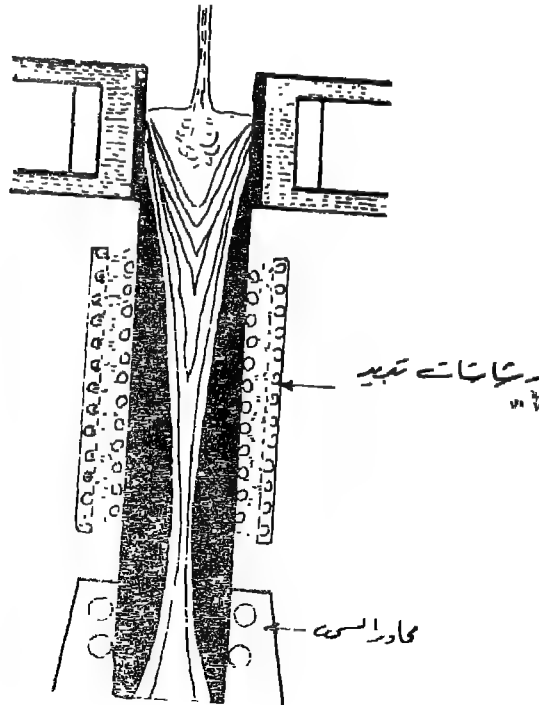
ولقد ظهر الصب المستمر في ميدان البحث في كل من الاتحاد السوفيتي عام ١٩٠٥ وألمانيا عام ١٩٠٩ بطرق متعددة ، ولكنها لم تدخل الى حيز التطبيق في المجال الصناعي لصب الفلزات غير الحديدية بطريقة مستمرة حتى عام ١٩٤٠ ، ثم سارت الجهود بعد ذلك قدما بحماس منقطع النظير ووضعت في خدمتها كل الخبرات السابقة في هذا المجال حتى كادت بالنجاح وذلك الجزء الأكبر من الصعوبات التي تواجه عملية الصب المستمر للصلب المنصهر ، ولقد ارتبط الباحثون بعضهم ببعض في منظمات علمية كما ارتبطت هذه المنظمات هي الأخرى بعضها ببعض خدمة لهذا

الهدف حتى توصل البحث الى تعديلات ناجحة ومفيدة وانبتق عن هذه الأبحاث ثلاثة أنواع أساسية لهذه الطريقة :

- طرق ثلاث عمليات الانجاز الصخيم بأطنان وفيرة .
- طرق مناسبة للصب السريع .
- طرق قليلة ونادرة تستخدم لأغراض معينة في مصانع خاصة لذلك .

### مبادئ الصب المستمر لانتاج الصلب

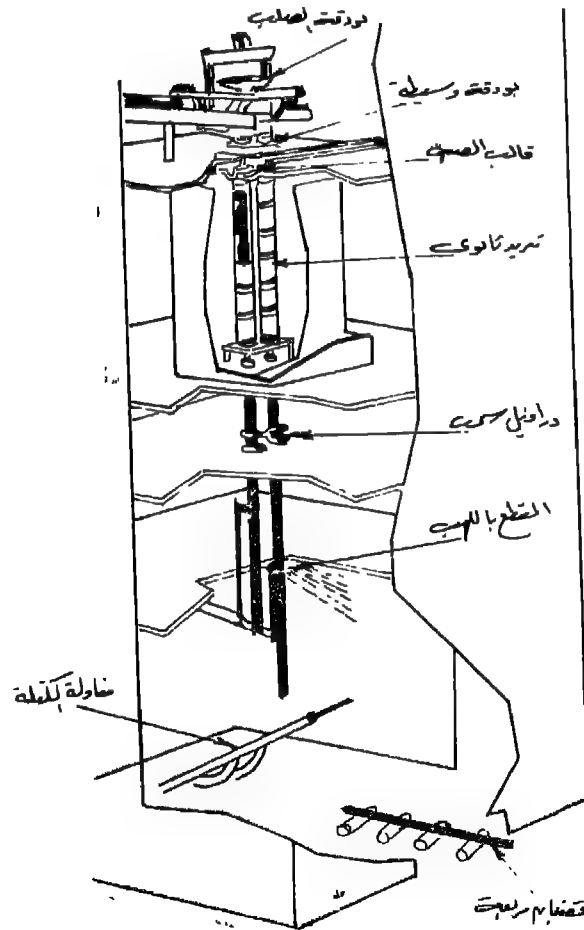
تقوم طريقة الصب المستمرة للصلب المنصهر أساسا على استخدام قوالب محملة رأسيا وتبرد بواسطة تيار من المياه الجارية وبصب الصلب المنصهر من أعلا القالب نحصل على قطاع متصل ومستمر من الصلب المصبوب عند نهايته وإذا فحصنا هذا القطاع المتصل وجدناه مكونا من قلب من الصلب لا يزال في حالة الانصهار مغلفا بغلاف (قشرة) من الصلب المتجمد له نفس شكل القالب .



شكل (٦٨)

وفى الوقت الحاضر لا يبلغ سمك الغلاف الساخن لدرجة الاحمرار  
فى جميع طرق الصب المستمر تقريبا عند النقطة التى يغادر فيها القطاع  
الفولاذى نهاية القالب بوصة طويلة وقد يصل هذا السمك فى القطاعات  
الخفيفة ( ذات مساحة مقاطع صغيرة ) والتى تنتج بواسطة الماكينات ذات  
السرعة العالية الى أقل من البوصة .

ويتحرك القطاع الناتج أسفل القالب خلال منطقة تبريد ثانوية  
حيث يتم تجمده كلية ويتم التبريد جزئيا بواسطة الاشعاع للطاقة  
الحرارية التى يحملها وأساسا باندفاع الماء عليه رذاذاً ومن ثم يمر الى  
أسفل حيث تقابله درافيل سحب تدار آليا وتقوم بضبط معدل هبوطه  
وتوجهه الى أجهزة مختلفة الأشكال حيث يقطع الى الأطوال والمقاسات  
المطلوبة .



شكل (٦٩)

## القواعد العامة لانتاج الصلب بواسطة الصب المستمر

تختلف وحدات الصب المستمر اختلافا بينا فيما بينها فى التفاصيل ولكنها بصفة عامة تشترك جميعا فى سمات أساسية والنقاط الرئيسية المشتركة بين جميع الوحدات موضحة نخطيها أما ما يضاف بعد ذلك عادة فهو تزويد الوحدة بأجهزة ننحصر مهمتها فى توجيه القطاع الناتج ليأخذ اتجاهها أفقيا قبل قطعه حتى يقل الحيز الطولى الذى نشغله الوحدة بقدر الامكان .

### استعمال المعدن الساخن :

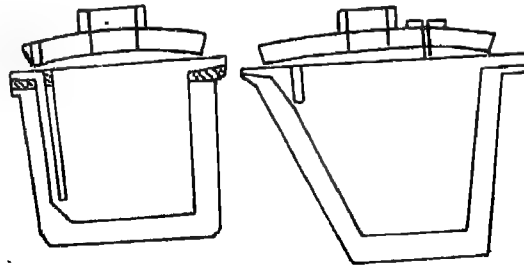
فى العادة يصب الصلب المنصهر من البونقه الى القالب خلال ( مع ) وفى الوقت الحالى ستستخدم ثلاثة أنواع من البوادر من مصانع الصلب التى تطبق طريقة الصب المستمر .

– بودوه للصب من أسفل تشتمل على فتحات حسب القواعد الصحيحة .

– بودقة ذات سيفون ( سعب ) فى جدارها الحرارى حيث يدمج بها أنبوبة حرارية لمرور ونقل الصلب المنصهر الى حافة الصب عند امالة البودقة .

– بودقة ذات حافة للصب ( ذات شفة ) .

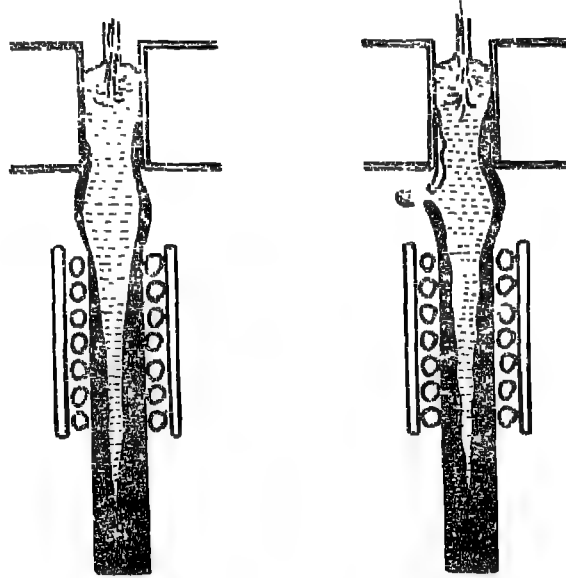
وعند اختيار النوع المناسب من هذه البوادر لاستخدامها فى الصب المستمر تتماثل أمامنا عدة عوامل فى غاية التعقيد ولكن عند استعراض جميع الاعتبارات فاننا نجد أن البودقة ذات الحافة ( الشفة ) تنفرد بعدة مميزات خاصة كما أنه من ناحية أخرى فان عيوبها لا تمتل خطورة بالغة .



شكل (٧٠)

### نجمد الصلب المنصهر :

ينضح أن ييار الصلب المنصهر يبدأ في النجمد في الغالب الحاسي حيث نستخدم المياه في تبريده مكونا غلافا صلبا ( ذا لون داكن ) وتهبط الكتلة المتكونة الى أسفل وتضغط عليها مجموعة من الدرافيل حيث ترش برذاذ من المياه يسلط عليها خلال فتحات خاصة فبدأ قلب الصلب المنصهر داخل الغلاف في التقلص حيث يتجمد ثم لا يلبث هذا القلب المنصهر أن يتسع ثانية عندما تجاز الكتل منطقة التبريد ونبدأ في استعادة حرارتها ولكن بالرغم من هذا فلا يحق لنا ان نلقى اليه بالا اذ تصبح لدينا فشرة من الصلب المتجمد قد تكونت وهي كافية لتحمل الضغط الواقع عليها من درافيل السحب التي تلى منطقة التبريد .

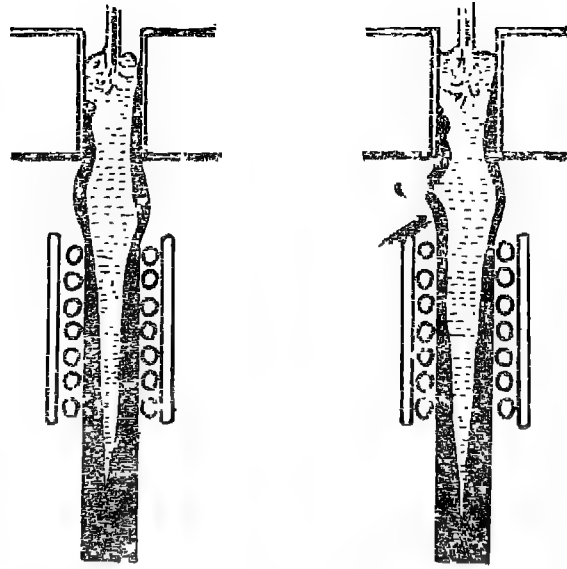


شكل ( ٧١ - ١ ) : يوضح الشكل على اليسار المراحل الأولى في عملية الصب المستمر. عندما تتعدى سرعة السحب قيمتها الحرجة ، وعندما تكون القشرة المتجمدة رقيقة فانما تتعرض للانفجار أسفل الغالب كما هو موضح بالشكل على اليمين

ويتوقف مقدار الصلب المنصهر في قلب القطاع على معدل تبريد الغلاف المنجمد الذي يتوقف بدوره على معدل هبوط الكتلة الى أسفل والشكل الهندسي للغالب والخصائص المميزة للصلب الذي يتعرض لعملية التبريد أثناء الانزلاق في منطقة التبريد .

وهناك نقطة حرجية لمعدل هبوط الكتلة عند أى مساحة مقطع ولما كانت كفاءة أجهزة الصب المستمر تزداد بزيادة سرعة السحب فانه أصبح من





شكل (٧١ - ب) : يوضح الشكل الذى على اليسار المراحل الأولى من عمليه التصلد عندما تكون العشرة المتجمدة رقيقة لذلك تتعرض للانفجار فور هبوطها لأسفل كما فى الشكل على اليمين

المرغوب فيه أن تكون قيمة هذه النقطة الحرجة لمعدل الهبوط كبيره بفدر المسنطاع ويزيادة هذا المعدل نتكون لدينا هوة فى الصلب المتجمد وقد تكون عميقة عمقا كبيرا وتشكل خطورة بالغة لدرجة يصبح معها انفجار الغلاف المتجمد أمرا مترفيا وذلك نتيجة لاجهادات الشد التى يتعرض لها أو للاجهادات الهيدروستاتيكية التى تفاجئ الكتلة فور خروجها من القالب وأكثر من هذا فان معدل هبوط الكتلة يتحدد أيضا بقابلية التصاق غلافها المتجمد بالقالب وعادة ينشأ الالتصاق تحت المستوى الذى يبدأ فيه الغلاف فى التكوين مباشرة مما قد يؤدي الى تكوين قشرة رقيقة فى هذا المكان ومن ثم يتعرض للانفجار ، ويمكن تلاقى ذلك الخطر المستطير بطرق نسئى كاجراء عملية تزليق وغيرها من الطرق الأخرى .

ومما هو جدير بالذكر أنه قد أمكن لدينا التغلب على مشكلة الارتفاع الكبير الذى نتطلبه وحدة الصب المسنمر ونم اختزال هذا الارتفاع عن طريق حيود مسار قطاع الصلب المسنمر عن الاتجاه الرأسى الى الاتجاه الأفقى بواسطة درافيل سحب قوية تشغل هيدروليكيًا ثم يسندعل قطاع الصلب بعد ذلك بالاستعانة بمجموعة أخرى من الدرافيل .

## الاعتبارات الميتالورجية في طريقة الصب المستمر للصلب المنصهر

طالما قامت طريقة الصب المستمر على أسس عملية سليمة أدى ذلك الى انجاح كتل من الصلب تتمتع بجوده عاليه وسطح سليم .

ومع ذلك فيجب علينا أن نتذكر أن الانتاج أساسا هو عمليه سباكة تتطلب تشغيلًا على الساخن بواسطة الدرفلة والطرق وغيرها من طرق التشكيل الأخرى .

وبالنسبة للكتلة نفسها فإن التكوين الفلزى للصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يتكون من طبقة مبردة رقيقة تليها ببلورات عمودية قد نمب على السطح الداخلي للطبقة المبردة ثم بعد ذلك تأتي المنطقة المركزية الداخلية وهي تحتوي على ببلورات غير منتظمة الترتيب ومنساوية العدد في جميع الاتجاهات .

وبأخذ مقطع مربع نجد أن مستويات الضعف تكون قطريه ونبديء من الأركان الى الأركان مارة بالبلورات غير المنتظمة الترتيب .

وفي حالة الألواح الفولاذية ذات المفاطع الرقيقة تتقابل البللورات العمودية على المحور الأكبر للمقطع حيث تميل مستويات الضعف بزاوية ٤٥ درجة على الأركان .

وفي الصلب الذي يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون تتوغل البللورات العمودية الى حوالى نصف أو ثلاثة أرباع المسافة الى المركز تبعا لسماك المقطع بينما فى حالة الصلب الكربونى لا يتقدم نمو هذه البللورات العمودية الا لمسافة قصيرة لهذا تزداد مساحة المنطقة التى تحتوى على البللورات غير المنتظمة الترتيب .

وبزيادة نسبة الكربون فإن سمك الترتيب البنيانى لكل من البللورات العمودية ، والبللورات غير مسظمة الترتيب يصبح رقيقا .

وفى هذا المجال يمكن القول بأنه يوجد نقطتا تباين فى التركيب البنيانى للكتل الناتجة بطريقتى الصب المستمر والمعنادة :

١ - تمتاز طريقة الصب المستمر بمائل التركيب البنيانى على طول القطاع المنتج من أوله الى آخره .

٢ - خلو القطاع المنتج بطريقة الصب المستمر من ظاهرة الانعزالية المستعرضة ولقد كانت المقارنة السابقة بالنسبة للصلب المخمد ، أما الصلب الفوار فيتكون هو الآخر من ببلورات عمودية وأخرى غير منتظمة الترتيب ولكن البنبان الماكروسكوبى على كل مساحة المقطع لهذا الصلب

يكون مضطربا وغير منظم نتيجه للتفاعلات الى نحدث داخل الصلب فتتكون منطقة تحتوى على فعاعات غازية أثناء الفوران ومع ذلك يمتاز كل من الصلب الفوار والصلب المتجمد الناتج من عملية الصب المستمر بسلامة سطحه عموما .

وقصارى القول فان الصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يمتاز بجودة عالية كما أن الخواص الطبيعية والميكانيكية لنوابجه المدلفنه تكون جيدة ومرضية ولا يختلف عن ميلاتها الى تحصل عليها من المنجات عالية الجودة والى تم صيها بالطريقة المعتادة .

### مقارنة بين طريقة الصب المستمر والطريقة المعتادة :

لقد سبق ذكر بعض المقارنات من الناحية الميثالورجية فى البند السابق ومن الطبيعى أن تكون المميزات الاقتصادية انعكاسا صادقا ودقيقا للمميزات العلمية لطريقة الصب المستمر وعموما تنحصر المميزات الاقتصادية فى زمن الاعداد الكلى وللطاقة البشرية المستغلة ( القوى العاملة ) وفى اجراءات الصيانة فيما يلى :

١ - نلافى سفلى العديد من فوالب الصب ونجريدھا بعد تجمد كتل الصلب بداخلھا أى عدم الحاجة الى أوناش لتجريد الكتل من قوالب الصلب .

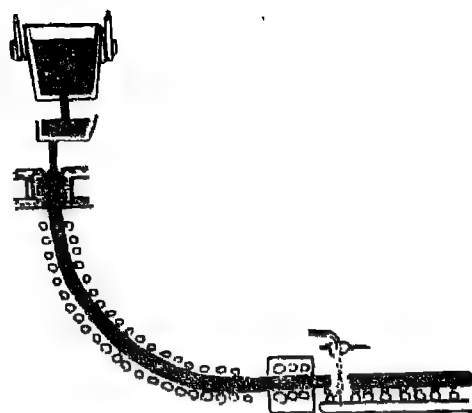
٢ - عدم الحاجة الى الافران الغاطسه .

٣ - الاستغناء عن ماكينات الدرفلة الابتدائية .

٤ - ارتفاع الكفاءة الاناجية للكتل النابجة ( النوارات والالواح ) اذ يتكون لدينا فجوة أنبوبية واحدة فتقل كمية المستبعد من الصلب الناتج نتيجة لتكوين الفجوات الأنبوبية عند تجمد الصلب المنصهر والتي تحدث عند استخدام الطرق المعتادة للصب .

### طريقة الصب المستمر

مما لا شك فيه أنه نتيجة للمميزات المنعده التى تقدمها لنا طريقة الصب المستمر فان عدد وحدات الصب المستمر التى تنشأ بمصانع الصلب يزداد باطراد خاصة فى السنوات الأخيرة وتتركز معظم هذه الوحدات فى مصانع الصلب بأوربا وقد لحقت بها الولايات المتحدة أخيرا وفى أكتوبر سنة ١٩٦٣ كان العدد الكلى للوحدات العاملة التى تتبع طريقة الصب



شكل (٧٢) تقوم مجموعة من الدلفينات بتغير مسار قطاع الصلب المنج من الاتجاه الراسي الى الاتجاه الأفقى - واثناء ذلك يتعرض القطاع للتبريد بواسطة الهواء بدلا من الجريد برشاشات المياه وبهذه الطريقة يمكن اختزال ارتفاع وحدة الصب المستمر

المستمرة ٥٩ ، ويستحوذ الاتحاد السوفيتى ، والمملكة المتحدة على حوالى ٤٠٪ منها وجارى الآن فى معظم مصانع الصلب النى فى شتى أنحاء العالم تشييد وحدات للصب المستمر .

ومن هذه الحقائق يمكننا التنبؤ بمستقبل مشرق لهذه الطريقة الصناعية الحديثة لصب الصلب .

وحاليا يجرى تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تشغيلها أوتوماتيكيا حتى يمكن مباشرة كل من البوتقة وقالب الصب من حجرة المرافبة بواسطة العدد اللازم فعلا من الايدى العاملة .

وعلى وجه العموم فان طريقة الصب المستمر تلقى نجاحا مطردا على مر الأيام .

## فهرس

٥	نقديم
٧	الفصل الاول : المبادئ الاساسية لصناعة الصلب فى المحولات
٨	١ - القواعد العامة لصناعة الصلب فى المحولات
١٠	٢ - نبذة
١٢	٣ - مبادئ الكيمياء الصناعية فى صناعة الصلب
١٦	٤ - المبادئ الاساسية لتحويل الزهر
٢٣	الفصل الثانى : الحرارية المستخدمة فى المحولات
٣١	الفصل الثالث : الحلاط
٣٥	الفصل الرابع : انتاج الصلب من محول بسمر
٣٦	١ - تصميم محول بسمر
٤٤	٢ - المواد الأولية لشحنة بسمر
٥٠	٣ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى محول بسمر
٥٣	٤ - تغيير التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث أثناء عملية النفخ
٦٠	٥ - الطريقة الحديثة لصناعة الصلب
٦٦	٦ - ازالة الفوسفور من الصلب
٦٦	٧ - نزع الاكسجين من الصلب « كرينة الصلب »
٧٠	٨ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر
٨١	الفصل الخامس : انتاج الصلب من محولات توماس ( طريقة بسمر القاعدية )
٨١	١ - القواعد الاساسية لانتاج صلب توماس
٨٢	٢ - تصميم وتشغيل محولات توماس

- ٣ - المواد الأولية اللازمة لصناعة صلب توماس . . . ٨٩
- ٤ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التي تحدث في محول توماس . . . . . ٩٢
- ٥ - ازالة الكبريت من محول توماس . . . . . ٩٦
- ٦ - خبث توماس . . . . . ٩٧
- ٧ - الانحرافات في تشغيل محولات توماس وطرق علاجها . . . . . ٩٩
- ٨ - الطريقة الحديثة لانتاج الصلب التوماسي . . . ١٠١
- ٩ - استعمال الأكسجين في محولات توماس . . . ١٠٧
- ١٠ - خواص واستعمالات صلب توماس . . . . . ١١٦
- ١١ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس . . . ١١٧
- الفصل السادس : الطريقة العلوية للنفخ في المحولات . . . ١٣١**
- ١ - المبادئ الأساسية لطريقة النفخ العلوية . . . ١٣٢
- ٢ - تصميم المحول ذي النفخ العلوى . . . . . ١٣٤
- ٣ - جهاز تمويل الأكسجين . . . . . ١٤٢
- ٤ - نصريف الشحنة . . . . . ١٤٧
- ٥ - أجهزة تنقية غازات المحولات . . . . . ١٤٩
- ٦ - المواد الأولية . . . . . ١٥٦
- ٧ - مراحل النفخ . . . . . ١٦٤
- ٨ - الطرق المختلفة للنفخ بالأكسجين من أعلا . . . ١٨٤
- ٩ - صناعة أنواع الصلب المختلفة وجودة الصلب . . . ٢٠٢
- ١٠ - صناعة الصلب الذي يحوى على نسبة عالية من الكربون . . . . . ٢٠٧
- ١١ - صناعة الصلب ذي العناصر السبائكية المنخفضة والمستخدم فى نسليج المباني . . . . . ٢٠٩

## صفحة

- ١٢- الموازنة المادية والحرارية في طريقة النفخ العلوية  
بالأكسجين . . . . . ٢١٧
- ١٣- تخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة لصناعة  
الصلب . . . . . ٢٣٢

- الفصل السابع : صناعة الصلب في المحولات الدوارة والأفران  
الأنبوبية الدوارة . . . . . ٢٤٣**
- ١ - نفخ الحديد الزهر في محول دوار . . . . . ٢٤٤
- ٢ - صناعة الصلب في الأفران الأنبوبية الدوارة . . . . . ٢٤٩
- ٣ - الموازنة المادية والحرارية في صناعة الصلب بطريقة  
الفرن الدوار . . . . . ٢٥٣
- الفصل الثامن : طريقة الصب المستمر لإنتاج الصلب . . . . . ٢٥٨**





مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٨٧/٢٣٦١

---

ISBN - ٩٧٧ - ٠١ - ١٢٨٤ - ٤



الهيئة العامة لكتبة الإسكندرية



عرض تفصيلى للطرق المختلفة لإنتاج الصلب باستخدام التلغيم  
ويتضمن شرحاً للنواحي التكنولوجية المميزة لكل طريقة وحسابات  
الموازانات المادية والحرارية لها . مع شرح لمميزاتها وعيوبها وأنواع  
الصلب المنتجة فى كل طريقة . ويختتم الكتاب بعرض موجز لطريقة  
الصب المستمر وهى أحدث طرق صب المعادن عموماً والصلب على  
وجه الخصوص .

مهندس : سعيد عبد الغفار